

Tensar®

WIR STABILISIEREN



www.tensar.de

Fachkommunikation
Hangsicherung
Geokunststoffe
Sanierung

Umweltschutz/Mikroplastik
Gabionen
Schadensanalyse Vortrieb
Schachtfördertechnik

Digitalisierung
Arbeitsplatzgrenzwerte
Emissionen
Personalführung



RELIABLE TRANSPORT SYSTEMS FOR MINING & TUNNELLING



MONORAIL
DUORAIL
RUBBER TYRED

DIESEL



CONDUCTOR RAIL



BATTERY



SMT Scharf GmbH | Römerstraße 104 | 59075 Hamm | Germany | P +49 (0) 2381 96001 | info@smtscharf.com www.smtscharf.com



DEILMANN-HANIEL GmbH

44319 Dortmund/Germany

Tel +49 231 2891 395

Fax +49 231 2891 352

www.deilmann-haniel.com

We sink shafts.

Any mineral. Any geology. Anywhere.

For more than 130 years we have safely and successfully sunk more than 500 shafts with a depth of over 230,000 m.

We are a member of The Redpath Group, operating on all five continents and belonging to the world market leaders in the field of mine contracting and construction.

We provide our customers with a complete range of services from design and engineering to construction, maintenance, reconstruction and rehabilitation.

Contact us with your shaft-related inquiries.

DH DEILMANN-HANIEL

A Member of The Redpath Group

Inhalt

Impressum4

AUF EIN WORT

Katrin Brummermann und Manfred König

Querdenken und Fokussieren – eine Herausforderung!5

Das Spannungsfeld zwischen Querdenken und Fokussieren ist eine Herausforderung für unsere Gesellschaft, für uns persönlich, für technische Weiterentwicklung und damit auch für die Kommunikation in einer Fachzeitschrift.

Geotechnik • Bergbau • Tunnelbau • Meinungsbildung • Kommunikation

GEOTECHNIK

Ekaterina Scherbina

Gitterbewehrte Stützkonstruktionen zur Sanierung in Hang- und Einschnittsbereichen7

An Straßen oder Wegen in Hanglagen oder Einschnittsbereichen treten häufig Schäden auf, die mit Kunststoff-Bewehrte-Erde-Systemen saniert werden können. Dieser Artikel zeigt Schadensbilder auf, stellt zwei geogitterbewehrte Stützkonstruktionssysteme vor und geht auf ein Straßensanierungsprojekt in Luxemburg ein.

Geotechnik • Hangsicherung • Geogitter • Bewehrte Erde • Sanierung • Luxemburg

GEOTECHNIK

Matthias Maisner, Jan Retzlaff und Christian Dietrich

Geokunststoffe im Verkehrswegebau in Kontakt mit Grund- und Oberflächenwasser – Umweltaspekte11

Nach der Europäischen Bauproduktenverordnung ist der Umweltschutz eine wesentliche Grundanforderung an Bauwerke. Das gilt auch für die Beurteilung der Eignung von Geokunststoffprodukten, die an Verkehrswegen, zum Beispiel Bundeswasserstraßen, verbaut werden und Kontakt mit Böden und Wasser haben. Die Regelwerkssituation und Prüfungen zum Auslaugverhalten und zum Abrieb werden erläutert. Auch die Vermeidung von Mikroplastik steht im Fokus.

Geotechnik • Wasserbau • Geokunststoffe • Umweltschutz • Prüftechnik • Normen

GEOTECHNIK/PRODUKTMELDUNG

Industrieverband Geokunststoffe e. V.

Geogewebe – Anwendungen und Funktionen18

Dieser Artikel erläutert dem Anwender geotextile Gewebe und ihre Hauptanwendungsgebiete und gibt Hinweise zu Planung und Bemessung.

Geotechnik • Geokunststoffe • Planung Bemessung

GEOTECHNIK

Matthias Nimmesgern und Wolfgang Schmauser

Ösengabionensystem mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung21

Gabionenkonstruktionen kommen zunehmend in der Praxis als Stützbauwerke zur Anwendung. Die Hoy Geokunststoffe GmbH entwickelte ihr Gabionensystem Quicky Forte 2000 weiter und erhielt dafür eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt). Dieser Artikel erläutert die geleistete Entwicklungsarbeit und im Zulassungsverfahren erbrachte Prüfungen und Nachweise.

Geotechnik • Stützbauwerke • Gabionen • F&E • Regelwerke • Zulassung

GEOTECHNIK

Florian und Matthias Schönberger

Hangsicherung mit Erdbeton – standfest, effizient und umweltgerecht28

Schlanke, aber massive Stützscheiben aus Erdbeton – erstellt aus vorhandenem Boden und einer Zementsuspension – können wirksame Elemente zur Hangsicherung bilden, wie ein Praxisbeispiel des Unternehmens Schönberger Bau im hessischen Wattenberg zeigt.

Geotechnik • Hangsicherung • Sanierung • Erdbeton • Effizienz • Umwelt

GEOTECHNIK/VERANSTALTUNG

Gerhard Blasch

12. Österreichische Geotechniktagung – Theorie und Praxis des Spezialtiefbaus30

Die 12. Österreichische Geotechniktagung in Wien stand in diesem Jahr unter dem Motto „Theorie & Praxis des Spezialtiefbaus“. Mit der Fachaussstellung VÖBU Fair bot sie den Geotechnik- und Spezialtiefbauexperten im deutschsprachigen Raum die Möglichkeit zum Austausch über die neuesten technischen und wirtschaftlichen Entwicklungen.

Veranstaltung • Geotechnik • Spezialtiefbau • Österreich

Titel

Tensar International gehört zu den globalen Marktführern für Bodenbewehrung und -stabilisierung mit Geogittern. Die Produkte werden in unterschiedlichen Bereichen angewendet, z. B. zur Trag-schichtstabilisierung, zur Bewehrung von Steilböschungen und zur Asphaltbewehrung. Die Niederlassung Tensar International GmbH in Bonn, Deutschland, bietet auch technische Unterstützung zur Realisierung sicherer, wirtschaftlicher und nachhaltiger Lösungen. Lesen Sie auf den Seiten **7 bis 10** über geogitterbewehrte Stützkonstruktionen zur Sanierung in Hang- und Einschnittsbereichen von Straßen und Wegen.



Seite 7



Seite 11



Seite 18



Seite 21



Seite 38



Seite 43

TUNNELBAU

Jürgen Schmitt, Alexander Kilian und Klaus Hönisch

Analysen zu Schadensfällen und Risiken

bei maschinellen Tunnelvortrieben im Festgestein34

An der Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt wurden Tunnelbauprojekte analysiert, bei denen es während der Bauausführung zu Schadensfällen kam. Der vorliegende Beitrag stellt die Ergebnisse dar, die auf Grundlage von 31 Tunnelbauprojekten, die mittels Tunnelbohrmaschine aufgeföhren wurden, ermittelt wurden.

Tunnelbau • Maschinelles Vortrieb • Festgestein • Risiko • Schadensfälle

BERGBAU/TUNNELBAU

Thilo Pfister

Schachtfördertechnik digital –

Produktivitätssteigerung durch Vermeidung von Stillständen38

Der zuverlässigen Verfügbarkeit von Schachtfördertechnik kommt im untertägigen Bergbau und im Tunnelbau entscheidende Bedeutung zu. Die SIEMAG TECBERG GROUP nutzt daher digitale Prozess- und Messdaten, um erweiterte Serviceangebote für gelieferte Maschinen und Anlagen anzubieten. Damit sollen Stillstände vermieden, die Instandhaltung effizient gemanagt und die Produktivität gesteigert werden.

Bergbau • Tunnelbau • Schachtfördertechnik • Digitalisierung • Produktivität • Instandhaltung

BERGBAU

Rüdiger Triebel

Neue Anforderungen für den Bergbau

durch strengere Arbeitsplatzgrenzwerte43

Die K+S Gruppe steht nach dem Beschluss der in Deutschland zukünftig anzuwendenden Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) für Stickoxide in Grubenbetrieben vor großen Herausforderungen. Hinzu kommen weitere Verschärfungen der AGW für Kohlenstoffmonoxid und partikelförmige Dieselmotoremissionen. Dieser Artikel beschreibt die Anstrengungen und das Maßnahmenpaket, um die strengeren Anforderungen zu erfüllen.

Bergbau • Kali und Salz • Maschinenteknik • HSE • Sprengtechnik • Wettertechnik

BERGBAU

Führen in digitalen Zeiten55

Claus Pels-Leusden

Dieser Artikel erläutert eine exemplarische Umfrage zum Stand der Digitalisierung in deutschen Bergbauzulieferunternehmen und ihrer Personalstrategie zur Lösung der damit verbundenen Aufgaben. Die Umfrageergebnisse werden erläutert und bewertet. Der abschließende Ausblick zeigt zukünftige Herausforderungen für die Zusammenarbeit sowie die Personalführung und -entwicklung in den Unternehmen auf.

Bergbau • Zulieferer • Digitalisierung • Geschäftsmodelle • Personalführung • Personalentwicklung

Impressum

GeoResources Zeitschrift / Journal

5. Jahrgang, Fachzeitschrift für Bergbau, Tunnelbau, Geotechnik und Equipment
Erscheinungsdatum: 21.06.2019
ISSN | Digital 2364-0278 • Druck 2364-8414

Erscheinungsweise:

GeoResources erscheint mit 4 Ausgaben pro Jahr in deutscher (GeoResources Zeitschrift) und 4 Ausgaben in englischer Sprache (GeoResources Journal) als Online-Ausgaben (www.georesources.net). Zusätzlich erscheinen Zeitschrift und Journal in angepasster Auflagenhöhe in gedruckter Form. Bei Interesse an gedruckten Exemplaren setzen Sie sich bitte mit uns in Verbindung, um weitere Informationen zu erhalten (abo@georesources.net).

Bezugspreis:

Online kostenfrei, Printausgaben 100 €/a je Sprache, deutsch und englisch kombiniert 150 €/a, Studenten 50 % Rabatt, incl. Porto, Verpackung und dt. Steuern.

Chefredaktion:

Dr.-Ing. M.A. Katrin Brummermann
Mobil: +49 151 70 888 162

E-Mail: kb@georesources.net

Dipl.-Ing. Manfred König

Mobil: +49 172 244 16 16

E-Mail: mk@georesources.net

Media und Anzeigen:

E-Mail: advertising@georesources.net

Tel.: +49 2841 60 789 67

Herstellung/Layout/DTP:

Herbert Stimper

E-Mail: hs@georesources.net

Gudrun Klick

E-Mail: info@gudrun-klick.de

www.grafiklick.de

Herausgeber:

GeoResources Portal Manfred König

Oleanderweg 12, 47228 Duisburg

Mobil: +49 172 244 1616

Tel.: +49 2841 60 789 67

E-Mail: press@georesources.net

Druck:

Kiess und Makossa Mediengruppe GmbH,
Gelsenkirchen

Copyright:

Alle Rechte vorbehalten ©GeoResources Portal, Duisburg, www.georesources.net
Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne die Genehmigung des Copyrightinhabers in irgendeiner Form, durch Fotokopie, Mikrofilm oder andere Verfahren, reproduziert oder in eine von Maschinen oder Datenverarbeitungsanlagen verwendbare Form gebracht und genutzt werden. Ausgenommen sind Wissenschaft und nichtkommerzieller Unterricht. Eine Anzeige der Nutzung ist erwünscht. Die Inhalte der eingereichten Manuskripte bleiben im Eigentum der Autoren (Verfasser), solange die Einreichung unentgeltlich erfolgte. Die inhaltliche Verantwortung für mit Namen gekennzeichnete Beiträge und gelieferte Fotos und Grafiken übernimmt der Verfasser.

Querdenken und Fokussieren – eine Herausforderung!

Dr.-Ing. M.A. Katrin Brummermann und Dipl.-Ing. Manfred König, GeoResources, Deutschland

Das Spannungsfeld zwischen Querdenken und Fokussieren ist eine Herausforderung für unsere Gesellschaft, für uns persönlich, für technische Weiterentwicklung und damit auch für die Kommunikation in einer Fachzeitschrift.

**Geotechnik • Bergbau • Tunnelbau •
Meinungsbildung • Kommunikation**

Die erste Zeitschriftenausgabe von GeoResources erschien Ende 2014. Wir verlegen den Untergrund in den Vordergrund. Dieses Motto nannten wir im Auftaktartikel „A missing Link“ [1]. Und unser Vorsatz war, mit unseren Autoren und für unsere Leser in vielfacher Hinsicht Querverbindungen zu schaffen bzw. missing Links zu schließen. Seitdem ist viel passiert. Das Spannungsfeld zwischen Querdenken und Fokussieren ist uns in gesellschaftlicher, persönlicher und fachlicher Hinsicht noch viel bewusster geworden. Es hat auch Einfluss auf unsere Arbeit und Fachzeitschrift.

Gesellschaftliche Herausforderungen

Unser Leben unterliegt ständiger Veränderung. Technische Fortschritte bieten vielfältige Möglichkeiten zur Erleichterung schwerer oder monotoner Arbeiten, zur Beschaffung von Informationen und zur Kommunikation, für Reisen und Transporte etc. Ungeplante Ausfälle von Technik können unseren Alltag komplett lahmlegen. Schlechte wirtschaftliche Bedingungen in anderen Ländern, kriegerische Konflikte und die Verletzung von Menschenrechten erhöhen die Zahl der Flüchtlinge. Notwendige Verbesserungen der Lebensqualität in Ländern, wie China und Afrika, erhöhen den Bedarf an Rohstoffen und Energie und belasten die Umwelt und das Klima zusätzlich. Es gibt zu wenige Fachkräfte in bestimmten Berufszweigen. In demokratisch regierten Ländern wird es schwieriger, tragfähige Mehrheiten zu finden. Die stärkere Vernetzung, die Vielfalt der Medien, Informationsblasen und unterschiedliche Lebens- und Denkweisen der Generationen erschweren einen sachlichen Meinungsaustausch und befördern eine Radikalisierung. Die Bauindustrie und die Rohstoffindustrie leiden in vielen Ländern unter einem schlechten Image und mangelnder Akzeptanz in der Bevölkerung – oft durch fehlende Weitsicht und Wertschätzung auf beiden Seiten und Defizite in der Kommunikation.

Persönliche Herausforderungen

Die genannten gesellschaftlichen Herausforderungen betreffen auch uns persönlich. Wie informiere ich mich

in Zeiten der Informationsüberflutung und vielfältigen Vernetzung, um Entscheidungen für mein Tun zu treffen? Wie gründlich recherchiere ich und prüfe die Qualität meiner Quellen? Wieviel Zeit investiere ich? Wie setze ich Prioritäten? Worauf verzichte ich und worauf konzentriere ich mich mit Tiefgang, Ausdauer und der nötigen Ruhe? Schreibe und kommuniziere ich nachvollziehbar mit Unterscheidung von Tatsachen und Meinung bzw. Bewertung und gebe ich meine Quellen an? Wie trete ich mit anderen in Kontakt? Nehme ich mir Zeit zum Zuhören und lasse ich andere Meinungen und Blickwinkel zu? Bin ich offen für andere mit anderen Berufen, aus anderen sozialen Verhältnissen, aus anderen Kulturen und Ländern oder aus einer anderen Generation? Erweitere ich dadurch meinen Horizont und suche nach Kompromissen, die andere mittragen und häufig auch noch besser sind? Bin ich andererseits authentisch und schwimme nötigenfalls aus Überzeugung gegen den Strom, auch wenn das Kraft kostet. Nehme ich für das Gemeinwohl persönliche Nachteile in Kauf? Übernehme ich gesellschaftliche Verantwortung? Das sind ziemlich viele Fragen, die man nicht alle im Handumdrehen und im vollen Lauf beantworten kann. Vielleicht denken wir in unserer nächsten Muße-phase z. B. im Urlaub in Ruhe darüber nach.

Fachliche Herausforderungen

Auch die Arbeitswelt erfährt momentan tiefgreifende Veränderungen. Technische Weiterentwicklung, wie Digitalisierung und Automatisierung, sind in der Regel nicht im Elfenbeinturm möglich, sondern nur im Team. Menschen aus unterschiedlichen Fachgebieten müssen zusammenarbeiten, um die Wertschöpfung zu verbes-



Foto: iStock.com/Warchi

sern. Bauprojekte und Rohstoffgewinnung erfordern gesellschaftliche Akzeptanz in der Sache und in der jeweiligen Region und Bevölkerung. Politische Entscheidungsträger müssen die technische und fachlicher Expertise in ihre Entscheidungen einbeziehen. Verfügbare finanzielle Mittel müssen verantwortungsvoll genutzt werden. Fachliches Wissen muss ergänzt, aber auch erhalten und in geeigneter Weise an Jüngere vermittelt werden. Nachwuchskräfte müssen gewonnen und für Berufe in unseren Fachgebieten begeistert werden.

Zum Querdenken, Fokussieren und Tun

Es gibt viel zu tun, um die zukünftigen Herausforderungen zu bewältigen. Eine Balance aus Querdenken, Fokussieren und Tun zu finden, ist und bleibt sicher für uns alle ein Spagat. Ob dieser Spagat gelingt, hat viel mit Kommunikation zu tun und damit auch mit dem Austausch in Fachzeitschriften. Auch wenn neue Medien hinzugekommen sind, haben Fachzeitschriften immer noch eine wichtige Bedeutung und Aufgabe. Für uns ist es wichtig, alte Werte solider Redaktionsarbeit mit neuen Aspekten der online-Verfügbarkeit etc. zu verknüpfen. Wissenserhalt sehen wir auch als wichtige Aufgabe an, die nicht von sozialen Medien erfüllt werden kann. Inhaltlich möchten wir die interdisziplinären Gesichtspunkte in das Bewusstsein unserer Leser rücken und

zum globalen Fachaustausch beitragen. Als Fachautoren, als Leser und als Anzeigenkunden haben Sie in den vergangenen Jahren dazu beigetragen, einen Teil unserer Vorsätze umzusetzen. Dafür danken wir Ihnen.

Wir hoffen, dass Sie uns weiterhin unterstützen, den Untergrund in den Vordergrund zu verlegen. Wir möchten kontaktfreudig, lebendig und authentisch bleiben, um die fächer-, länder- und altersübergreifende Kommunikation zu fördern und Tradition und Innovation zu verbinden.

Für Anregungen aus Ihrem Kreis zum sinnvollen Querdenken und Fokussieren sind wir offen und grüßen herzlich aus dem GeoResources Verlag.

Ihre Katrin Brummermann und Manfred König

- [1] Brummermann, K.; König, M. (2014): The missing Link – GeoResources Zeitschrift. GeoResources Zeitschrift (1-2014), S. 6-7. Online: <https://www.georesources.net/download/GeoResources-Zeitschrift-1-2014.pdf>.

Redaktionsteam GeoResources

Katrin Brummermann: kb@georesources.net

Manfred König: mk@georesources.net



FELDDHAUS
BERGBAU

Auf dem Loh 3
57392 Schmallenberg

Telefon 02972-305 · 0
www.feldhaus.com

Gitterbewehrte Stützkonstruktionen zur Sanierung in Hang- und Einschnittsbereichen

Dr. Dipl.-Ing. (RUS) Ekaterina Scherbina, Tensar International GmbH, Bonn, Deutschland

Bei der Realisierung von Infrastrukturprojekten wird aufgrund beengter Platzverhältnisse zunehmend in Regionen vorgestoßen, die Auftraggeber, Planer und Bauunternehmer vor immer größere Herausforderungen stellen. Flächenerweiterungen und dadurch bedingte Geländeanpassungen erfordern die Herstellung von übersteilen, geogitterbewehrten Böschungen und Stützkonstruktionen. Diese Maßnahmen zur Bodenbewehrung müssen zum einen ökologischen und zum anderen ökonomischen Anforderungen gerecht werden.

Besonders beim Bau von Straßen oder Wirtschaftswegen in Hanglagen oder Einschnittsbereichen kommt es immer wieder zu Schäden im Straßenbereich. Typische Schadensbilder sind z. B. Längsrisse oder Versatzkanten im Straßenbelag, Verdrückungen oder Ausspülungen, die im Randbereich der Straße sichtbar werden. Zu den häufigsten Schadensursachen gehören:

- ▶ Erhöhte Verkehrsbelastung
- ▶ Verbreiterung der Straße in unkonsolidierten Randbereichen
- ▶ Überbeanspruchung der Scherfestigkeit des Untergrunds
- ▶ Zusätzliche Beanspruchungen durch zuströmendes Schichtwasser oder Starkregenfälle und unzureichende Entwässerungseinrichtungen

Je nach Schadensursache zeigen sich unterschiedliche Schadensbilder (**Bilder 1 bis 3**). Eine Sanierung sollte immer der Schadensursache folgen. Konventionelle Lösungen stoßen hier zunehmend an ihre Grenzen. Für die Sanierung bieten sich Systemlösungen mit sorgfältig aufeinander abgestimmten Komponenten an. Böschungssicherungen und Stützkonstruktionen als Kunststoff-Bewehrte-Erde-System (KBE-Systeme) gewährleisten dabei nicht nur eine große Standsicherheit und schnelle Bauzeiten, sondern bieten im Vergleich zu konventionellen Bauweisen auch unterschiedliche Gestaltungsmöglichkeiten und eine bessere Ökobilanz.

Möglich sind je nach gewünschter Optik und Neigung begrünbare Steilböschungen oder Stützkonstruktionen mit einer Frontausbildung aus Gabionen oder Blocksteinen.

Kunststoff-Bewehrte-Erde-Systeme

Ein KBE-System ist eine Verbundkonstruktion aus Boden, einaxialen Geogittern und Frontausbildung, wobei die Geogitter die im Boden auftretenden Zugkräfte aufnehmen. Durch die lagenweise, horizontale Anordnung

An Straßen oder Wegen in Hanglagen oder Einschnittsbereichen treten häufig Schäden auf, die mit Kunststoff-Bewehrte-Erde-Systemen saniert werden können. Dieser Artikel zeigt Schadensbilder auf, stellt zwei geogitterbewehrte Stützkonstruktionssysteme vor und geht auf ein Straßensanierungsprojekt in Luxemburg ein.

Geotechnik • Hangsicherung • Geogitter • Bewehrte Erde • Sanierung • Luxemburg



Bild 1: Unterspülung einer Fahrbahn

Quelle der Bilder: Tensar International GmbH

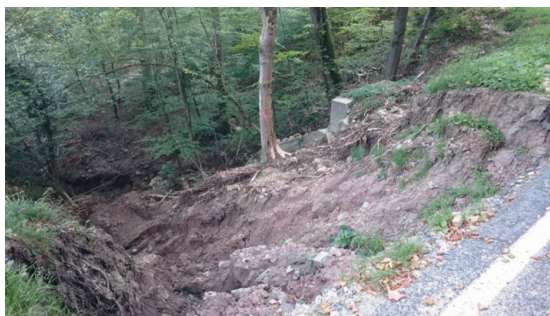


Bild 2: Talseitige Hangrutschung im Straßenbereich



Bild 3: Talseitige Risse in der Fahrbahn

der Geogitter wird mit dem Verfüllboden ein Verbundwerkstoff gebildet, der eine hohe Duktilität bietet und dadurch sehr setzungsunempfindlich ist. Ein großer Vorteil dieser Bauweise ist häufig die ressourcenschonende Wiederverwendung des Aushubmaterials in der KBE-Konstruktion.

Bei der Auswahl des für das Projekt am besten geeigneten KBE-Systems müssen viele Faktoren und Kriterien berücksichtigt werden. Dabei spielen die individuellen Projektanforderungen eine entscheidende Rolle, wie:

- ▶ Für das Bauwerk zur Verfügung stehender Platz
- ▶ Vorgesehene Höhe
- ▶ Zu erwartende Einwirkungen
- ▶ Gewünschte optische Gestaltung der Frontausbildung

Soll die Front begrünt werden, sind maximal Neigungen von 70° empfehlenswert. Bei steileren Neigungen

können Ansichtsflächen aus Gabionen oder Blocksteinen ausgeführt werden. Nachfolgend sollen zwei häufig verwendete Systeme vorgestellt werden:

- ▶ KBE-System mit Stahldrahtgitterelementen an der begrünten Front und Geogittern
- ▶ KBE-System mit Betonstapelsteinen an der Front und Geogittern

Ein KBE-System mit Stahldrahtgitterelementen an der begrünten Front und Geogittern, beispielsweise Tensar-Tech® Grün SG der Tensar International GmbH, ermöglicht sowohl eine naturnahe Ansichtsfläche als auch eine schnelle und einfache Bauweise. Die Front des Systems bilden statisch wirksame Stahldrahtgitterelemente, die durch eine Spezialverzinkung dauerhaft vor Korrosion geschützt sind. Sie werden durch vorgefertigte Distanzhalter auf die gewünschte Neigung der Steilböschung eingestellt. Die einzelnen Stahldrahtgitterelemente werden durch spezialverzinkte Stahlsteckschließen mit den einaxial gestreckten Geogittern formschlüssig rückverankert (**Bild 4**). Die mechanische Verbindung zwischen Frontelement und Geogitter gewährleistet ein hohes Maß an Sicherheit – auch bzw. insbesondere während der Bauphase. Diese Art der Verbindung funktioniert auch an Luft – also ohne Füllmaterial. An der Front wird kein Geogitterumschlag benötigt. Dadurch ist das System im Frontbereich anders als bei Systemen mit Umschlagmethode, UV- und feuerbeständig und somit dauerhaft.

Wenn keine vollständig begrünzte Wand realisierbar ist, z. B. in einer städtischen Umgebung oder bei einer Neigung größer als 70 bis 80°, stehen Verkleidungen der Außenhaut mit Betonpaneelen, Betonelementen oder Blocksteinen zur Verfügung, bei sehr steilen Konstruktionsneigungen beispielsweise das System Tensar-Tech® Wall der Tensar International GmbH (**Bild 5**). Als Frontelemente dienen hierbei nach dem Nut-und-Feder-Prinzip konstruierte Betonstapelsteine. Mit diesem System sind den Gestaltungsmöglichkeiten kaum Grenzen gesetzt. Es können unterschiedliche Radien, Eckausbildungen und Farben realisiert werden. Die Sicherheit des Systems wird durch die formschlüssige Verbindung von Blockstein und Geogitter durch spezielle Verankerungselemente gewährleistet. Zuverlässigkeit und Standsicherheit des vom British Board of Agrément (BBA) zertifizierten Systems haben sich bereits in vielen Teilen der Welt bei der Errichtung von Stützkonstruktionen bewährt.

Geotechnische Nachweisverfahren

Die Bemessung und somit auch die Festlegung des Sicherheitsniveaus geokunststoffbewehrter Erdkörper sind im Eurocode 7 [2] bzw. in der DIN 1054:2012 [3, 4] und der EBGE0 [5] festgelegt. In der EBGE0 werden sehr ausführlich alle erforderlichen erdstatischen Nachweise erläutert. Im Rahmen der Bemessung erfolgt z. B. der Standsicherheitsnachweis für die Gesamtstand-



Bild 4: KBE-System mit Stahldrahtgitterelementen an der begrünten Front und Geogittern [1]

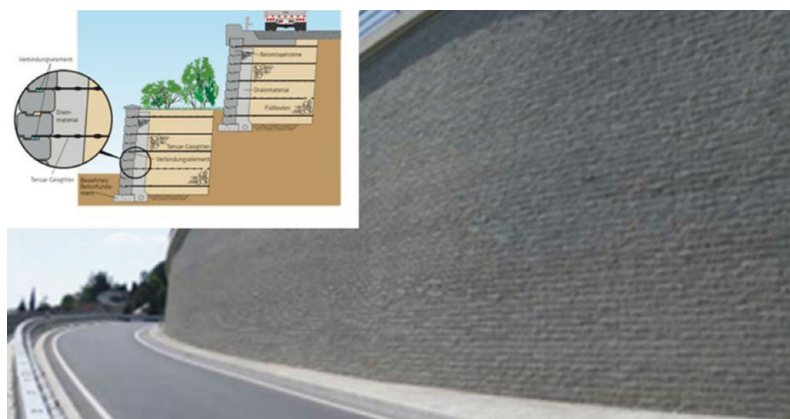


Bild 5: KBE-System mit Betonstapelsteinen und Geogittern [1]

sicherheit im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach dem Verfahren ULS-GEO3. Wenn gefordert werden auch – unter Berücksichtigung der entsprechenden Teilsicherheitsfaktoren für Einwirkungen bzw. Beanspruchungen und Widerstände – Nachweise für unterschiedliche Bemessungssituationen geführt. Im **Bild 6** ist exemplarisch eine Gleitkreisberechnung für eine Straßenerweiterung mit einer geogitterbewehrten Steilböschung dargestellt [8].

Bei der Bemessung fließen die vom Hersteller anzugebenden, produktspezifischen Abminderungsfaktoren des Geokunststoffs ein, d.h. für die Einflüsse aus Kriechen (A1), Beschädigung bei Transport, Einbau und Verdichtung (A2), Fugen, Überlappungen, Nähten und Bauteilanschlüssen (A3) und Umgebungseinflüssen (A4).

Projektbeispiel einer Straßensanierung in Luxemburg

Die starken Regenfälle in Juni 2018 hatten die für Luxemburg wichtige Ortsverbindungsstraße CR364 zwischen Echternach und Bergdorf sehr stark beschädigt. Der talseits gelegene Aesbach hatte in einigen Bereichen die bestehenden Hangsicherungen aus Stützmauern, Gabionenwänden und Böschungen unterspült und erheblich beschädigt. Zusätzlich floss das bergseitig anfallende Regenwasser über die bestehende Straßenböschung und sorgte für tiefe Oberflächenerosionen. In den **Bildern 7 und 8** sind exemplarisch Schäden an der CR 364 dargestellt. In den Hang eindringendes Wasser mobilisierte den sich auf einer Gleitfläche aus Tonstein (Rhät) befindenden Straßenkörper und führte zu Rissbildungen. Erkundungsbohrungen ergaben, dass ca. 10.000 m³ Boden verrutscht waren.

Die geotechnischen Untersuchungen und Sanierungsplanungen wurden vom Planungsbüro Geconseils, Capellen, Luxembourg, im Auftrag der Administration des Ponts et Chaussées Luxembourg durchgeführt. Um eine nachhaltige Lösung zu finden und die Straße für zukünftige starke Regenfälle zu wappnen, soll die bestehende und beschädigte Böschung, die bereits sehr steile Neigungen aufweist, durch eine in die Landschaft passende naturschonende und sichere geogitterbewehrte Steilböschung ersetzt werden. Umfangreiche geotechnische Untersuchungen haben gezeigt, dass nach begrenzter oberflächennaher Sanierung an den betroffenen Stellen erneut Rutschungen entstehen können. Um diese langfristig zu vermeiden, muss der gesamte Rutschkörper über die komplette Straßenbreite ausgekoffert und umfangreich gesichert werden. Aus dem Aspekt der Nachhaltigkeit sollen hierbei auch große Teile des Aushubmaterials ressourcenschonend zur Wiederverfüllung verwendet werden. Zusätzliche Anforderungen an die örtlich einzuhaltenden Begrenzungen für den Fußpunkt der KBE-Konstruktion stellte der geschwungene Verlauf des Aesbach dar.

Als Stützkonstruktion für die steilen Böschungsabschnitte wird ein anpassungsfähiges und setzungsun-

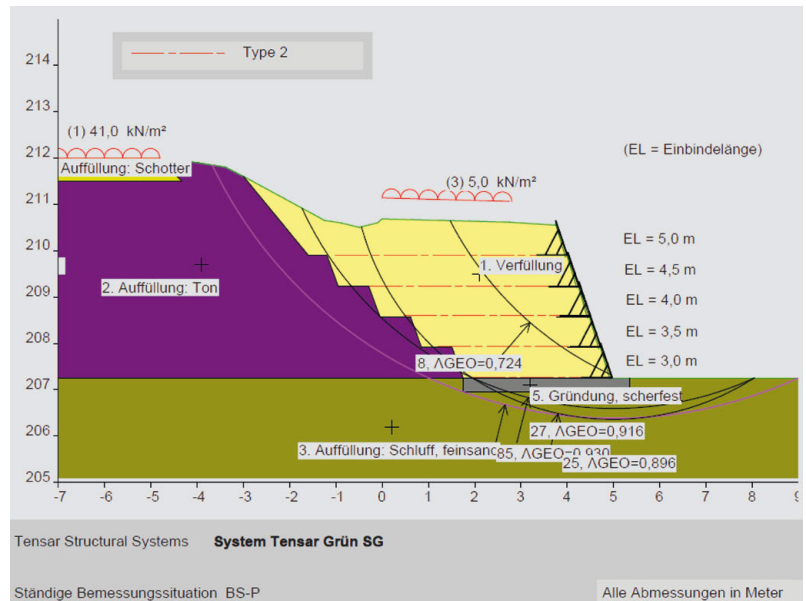


Bild 6: Beispiel einer Gleitkreisberechnung für eine Straßenerweiterung mit KBE-System



Bild 7: Wasserfluss mit Unterspülungen an der CR364 im Juni 2018

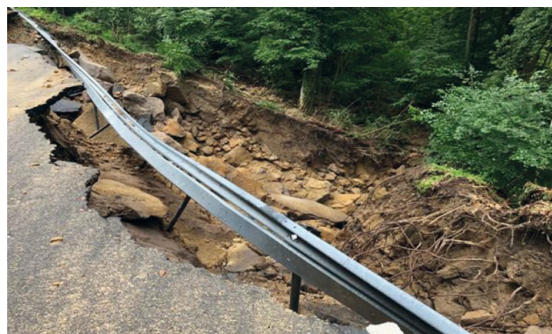


Bild 8: Rissbildung und Rutschung an der CR364 im Juni 2018

empfindliches Sicherungssystem aus Stahlgitterelementen an der Front und horizontal verlegten Geogittern zur Bewehrung hergestellt, sodass sich mit dem Verfüllmaterial ein tragfähiger Erdverbundkörper ergibt (**Bild 9**). Die Neigung der Stahldrahtgitterelemente beträgt 70°, der vertikale Lagenabstand der Geogitter 66 cm. Die Bewehrung besteht aus zugfesten, einaxial gestreckten und formstabilen Geogittern, die eine optimale Verzahnung mit dem Verfüllmaterial und eine



Bild 9: Einbau der KBE-Konstruktion mit Stahlgitterelementen an der Front und horizontal verlegten Geogittern im April 2019

hohe Langzeitbeständigkeit gewährleisten. Die Geogitterlängen werden der Geometrie des Stützkörpers sowie den Beanspruchungen aus Verkehr und Erddruck angepasst und betragen zwischen 5 und 8 m. Insgesamt werden ca. 8.000 m² Geogitter verbaut. Die formschlüssige Verbindung zwischen Geogitter und Frontbereich erfolgt durch eine Steckstabverbindung, die sowohl durch die Geogitteröffnungen als auch durch die Ösen des Stahldrahtgitters geführt wird. Hinter der Front des Stahldrahtgitterelements wird eine Erosionsschutzmatte angeordnet. Als ergänzende Schutzmaßnahme werden im Bereich des Aesbachs Naturfelsblöcke als Erosionsschutz im Hochwasserfall angeordnet. Wegen der unregelmäßigen Topografie wird die KBE-Konstruktion mit Höhen zwischen 3,0 und 9,0 m erstellt. Um ein einheitliches Landschaftsbild zu erreichen, werden weiterhin alle 3,0 m Konstruktionshöhe ca. 2 m breite Bermen angeordnet, die mit einem Gefälle von 5 % zur Talseite ausgeführt werden.

Die Baumaßnahme ist derzeit noch nicht abgeschlossen. Durch die Kombination der begrünten KBE-Konstruktion (ca. 1.100 m²) mit den Naturfelsblöcken und den Terrassierungen wird sich der Straßenabschnitt nach Fertigstellung im Sommer 2019 harmonisch in das Landschaftsbild einfügen.

Fazit

Straßen und Dämme in Hanglagen erfordern aufgrund ihrer topografischen Gegebenheiten und den sich daraus ergebenden Anforderungen an die Standsicherheit sowie aufgrund der Entwässerungsbedingungen besondere Aufmerksamkeit.

Das Projektbeispiel zeigt auf, wie Erdrutschungen wirtschaftlich und sicher saniert werden können. Dazu eignen sich Kunststoff-Bewehrte-Erde-Konstruktionen,

die sich durch ihre Gestaltungsmöglichkeiten sehr gut in das Landschaftsbild integrieren lassen. Die Möglichkeit der Wiederverwendung des Aushubmaterials gewährleistet eine gute Ökobilanz. Die Baumaßnahme war bei der Erstellung des Beitrags noch nicht abgeschlossen. Nach der Begrünung der Stützkonstruktionen werden sich diese harmonisch in die Landschaft einfügen und – zumindest im sanierten Bereich – zukünftig Schäden infolge Starkregenfälle vermeiden.

Literatur

- [1] Tensar International GmbH: Geogitterbewehrte Systeme. Broschüre. Online: <https://www.tensar.de/Downloads?subPath=Brochures&languageFilter=German%20%28Germany%29#>
- [2] DIN EN 1997-1:2014-03: Eurocode 7 - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009 + A1:2013
- [3] DIN 1054:2010-12: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1
- [4] DIN 1054/A1:2012-08: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1:2010; Änderung A1:2012
- [5] DGGT: Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen, EBGeo. 2. Auflage
- [6] GEO Conseils: CR 364 Echternach – Berdorf, Bericht „Rutschungen und Erosionsschäden infolge der Regereignisse vom 1.6.2018“
- [7] GEO Conseils: Assainissement inondations CR 364, Berdorf, SGP-218-009, Etude Géotechnique vom 27.09.2018
- [8] Tensar International GmbH: Berechnungsprogramm TensarSlope

**Dr. Dipl.-Ing. (RUS)
Ekaterina
Scherbina**

ist seit 2017 in der
Anwendungstechnik
der Firma Tensar
International GmbH,
Bonn.



Kontakt: scherbina@tensar.de

Geokunststoffe im Verkehrswegebau in Kontakt mit Grund- und Oberflächenwasser – Umweltaspekte

Dipl.-Ing. Matthias Maisner, Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe, Deutschland

Dr.-Ing. Jan Retzlaff, Geoscope GmbH & Co. KG, Weimar, Deutschland

Dr. Christian Dietrich, Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz, Deutschland

Nach der Europäischen Bauproduktenverordnung ist der Umweltschutz eine wesentliche Grundanforderung an Bauwerke. Das gilt auch für die Beurteilung der Eignung von Geokunststoffprodukten, die an Verkehrswegen, zum Beispiel Bundeswasserstraßen, verbaut werden und Kontakt mit Böden und Wasser haben. Die Regelwerkssituation und Prüfungen zum Auslagverhalten und zum Abrieb werden erläutert. Auch die Vermeidung von Mikroplastik steht im Fokus.

Geotechnik • Wasserbau • Geokunststoffe • Umweltschutz • Prüftechnik • Normen

1 Einleitung

Mit der Europäischen Bauproduktenverordnung (EU-BauPVO) [1] muss die Grundanforderung 3 (Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz) auch in den europäisch harmonisierten Bauproduktennormen für Geokunststoffe abgebildet werden. Aus dem fertiggestellten Bauwerk dürfen keine gefährlichen Stoffe in Grundwasser, Meeresgewässer, Oberflächengewässer oder Boden gelangen. Die Hersteller müssen zukünftig in ihren Leistungserklärungen auch angeben, ob möglicherweise gefährliche Stoffe freigesetzt werden können. Zur Festlegung der Prüfparameter bzw. deren Grenzwerte gelten in Deutschland die Vorschriften des jeweiligen Bundeslands.

Dieser Artikel stellt zunächst die Anwendungen von Geokunststoffen im Verkehrswegebau und dafür relevante deutsche Regelungen vor und geht auf die eu-

ropäische Regelwerkssituation ein. Er befasst sich dann genauer mit der horizontalen Oberflächenauslaugprüfung nach DIN EN/TS 16637-2 [2] zur Bewertung der Freisetzung gefährlicher Stoffe aus Bauprodukten und der Anwendbarkeit der Prüfungen für Geokunststoffe. Außerdem werden sonstige Umweltaspekte, insbesondere die Vermeidung von Mikroplastik in Gewässern behandelt.

2 Anwendungen von Geokunststoffen im Verkehrswegebau

2.1 Verkehrswasserbau

An Wasserstraßen haben Geotextilien in der Regel die Funktionen „Trennen“ oder „Filtern“. Unter „Filtern“ versteht man den dauerhaften Wasserdurchgang durch den geotextilen Vliesstoff bei gleichzeitiger Zurückhaltung bestimmter Fraktionen des Bodens. Damit verbunden ist wegen des Porenraums zwischen den Wasserbausteinen auch ein direkter Kontakt mit Wasser. **Bild 1** zeigt exemplarisch die Einbausituation an der Binnenwasserstraße „Kanal“. Hier findet durch die Vorbeifahrt eines Schiffs ein begrenzter Wasseraustausch statt.

In Deutschland wurden im Jahr 2015 an den 6.300 km Binnenwasserstraßen ca. 380.000 m² Geotextilien für die Böschungs- und Sohlensicherung verbaut. Bei den verwendeten Geotextilien handelte es sich in der Regel um vernadelte Vliesstoffe mit flächenbezogenen Massen von mehr als 600 g/m². Der Einbau kann, wie aus **Bild 2** ersichtlich, durch Geotextilverleger gleichzeitig auf Sohle und Böschung erfolgen. Mit den

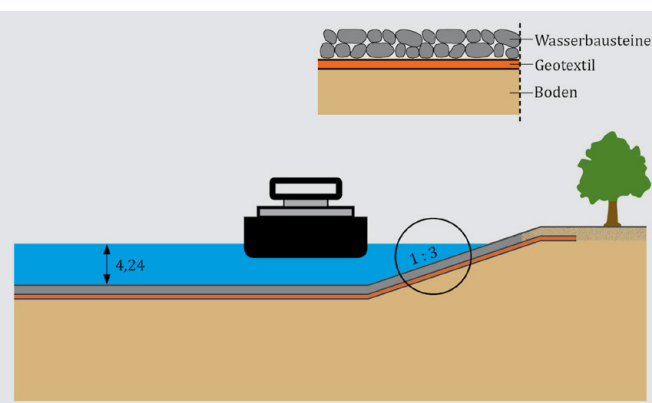


Bild 1: Geotextilanwendung nach DIN EN 13253 [3] – Deckwerksbau an einer Binnenwasserstraße



Bild 2: Einbau eines Geotextils an einer Bundeswasserstraße

technischen Lieferbedingungen für Geotextilien und geotextilverwandte Produkte an Wasserstraßen (TLG) [4] wird das Leistungsniveau geregelt. Geotextilien und ihre Verbindungsmaterialien müssen u. a. verrottungsfest und umweltverträglich sein.

2.2 Straßenbau

Im Straßenbau wird das gesamte Spektrum der am Markt erhältlichen Geokunststoffe eingesetzt. Auch hier ist der Kontakt mit Wasser als Niederschlag, Grund- oder Schichtenwasser in fast jeder Anwendung gegeben. Deshalb empfiehlt die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. bereits seit 2005 die Untersuchung des Einflusses von Geokunststoffen in Anlehnung an die Prüfwerte der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) [5] für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser. Bei der Beurteilung der Prüfwerte ist der Übergangsbereich von der ungesättigten zur gesättigten Bodenzone als Ort der Beurteilung anzunehmen. Diese Randbedingungen werden auch in der aktuellen Ausgabe des Merkblatts [6] berücksichtigt. Mit dem in [6] beschriebenen Verfahren zur Beurteilung der Umweltunbedenklichkeit wurde das Massenverhältnis Geokunststoff zu Grundwasser den tatsächlichen Bedingungen am Einsatzort angepasst, sodass die Prüfwerte der BBodSchV unverändert zur Beurteilung herangezogen werden können.

Die Regelungen des Merkblatts [6] zur Umweltunbedenklichkeit werden auch in [7] zitiert und sind somit im Erdbau des Straßenbaus zu beachten. Diese Regelungen wurden mit dem Allgemeinen Rundschreiben ARS-Nr. 17/2017 durch die Abteilung Straßenbau des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur für die Bundesfernstraßen bauaufsichtlich eingeführt. Gemäß EU-Richtlinie 2015/1535 [8] wurde [7] unter der EU-Notifizierungs-Nummer 2017/0132/D registriert.

Für Straßentunnel gelten die Vorgaben in der ZTV-ING Teil 5 Abschnitt 5 und den zugehörigen TL/TP KDB und TL/TP SD [9]. Die Umweltunbedenklichkeit ist danach analog zu [6] gemäß BBodSchV nachzuweisen. Für Kunststoffdichtungsbahnen werden außerdem Vorgaben zur Beständigkeit gegen Auslaugen gemacht. In den EAG-EDT [10] wird außerdem empfohlen, in Kunststoffdichtungsbahnen nicht DEHP (Diethylhexylphthalat), BBP (Benzylbutylphthalat) und DBP (Dibutylphthalat) als Weichmacher in PVC-Dichtungsbahnen zu verwenden.

2.3 Schienenverkehrswegebau

Die DB AG erstellt detaillierte Richtlinien für den Einsatz von Geokunststoffen in eisenbahnspezifischen Anwendungen. Es gibt sowohl Festlegungen für die konstruktive Ausbildung von Erdbauwerken als auch für die Qualitätssicherung. Festlegungen für die Untersuchungen zum Auslaugverhalten von Geokunststoffen finden sich in den Technischen Lieferbedingungen [11] der

DB Netz AG, die Voraussetzung für die herstellerbezogenen Produktqualifikationen sind. Inhaltlich bezieht sich [11] auch auf die Empfehlungen in der nunmehr aktuellen Ausgabe von [6].

Für Eisenbahntunnel gelten die Vorgaben der Ril 853 [12], die für die Produktanforderungen an Geokunststoffe auf die ZTV-ING Teil 5 Abschnitt 5 und die zugehörigen TL/TP KDB und TL/TP SD [9] verweist und somit auch die darin enthaltenen Vorgaben zur Umweltunbedenklichkeit und zur Beständigkeit gegen Auslaugen.

3 Europäische Regelwerkssituation

Aufgrund der Mandatsergänzungen der Europäischen Kommission (EC) müssen die Produktkomitees zukünftig in den Produktnormen für den europäischen Binnenmarkt auch die Grundanforderung 3 (Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz) als weiteres Leistungsmerkmal einarbeiten. Im Falle des für Geokunststoffe zuständigen Technischen Komitees (TC) 189 wurde von der EC ein Entwurf für die Mandatsergänzung aufgestellt. Mit der Veröffentlichung der CEN/TS 16637-2 [2] des CEN/TC 351 „Bauprodukte – Bewertung der Freisetzung gefährlicher Stoffe“ wurde den Technischen Produktkomitees des CEN die horizontale Prüfmethode „Oberflächenauslaugprüfung“ für die Umsetzung der Grundanforderung 3 zur Verfügung gestellt. Hierbei handelt es sich um ein Indexprüfverfahren zur Bewertung der oberflächenabhängigen Freisetzung aus monolithischen, plattenartigen oder folienartigen Bauprodukten. Es werden Lagerungsversuche in Wasser durchgeführt, bei denen zu festgelegten Zeiten Wasserproben entnommen und analysiert werden. Die vom TC 189 behandelten Geokunststoffprodukte sind in der Regel folien- oder plattenartig. Ein weiteres für diese Thematik verfügbares Prüfverfahren, das Prüfverfahren „Perkolation“ nach CEN/TR 16367-3 [13], kann für solche Produkte nicht sinnvoll verwendet werden. Beide Prüfverfahren können grundsätzlich für beide Schritte in der Hierarchie (Typprüfung und werkseigene Produktionskontrolle für die CE-Kennzeichnung gemäß den europäischen harmonisierten Produktnormen) angewendet werden. Die CEN/TS 16637-1 [14] beschreibt, wie die Technischen Produktkomitees (TC) die geeignete Auslaugprüfung zur Ermittlung der Freisetzung regulierter gefährlicher Stoffe aus Bauprodukten in Boden, Oberflächenwasser und Grundwasser bestimmen sollen. Zukünftig kann der Hersteller in seiner Leistungserklärung das Leistungsmerkmal „Freisetzung gefährlicher Stoffe“ deklarieren. Somit werden die Ansätze des CEN/TC 351 auch für die vom CEN/TC 189 „Geokunststoffe“ zu bearbeitenden Produktnormen verbindlich. Für Geokunststoffe sind zur Umsetzung der Grundanforderung 3 europaweite Regelwerke zu erstellen. Dies beinhaltet z. B. Regelungen für die Probenahme, die Verpackung und den Transport von Proben. Die Regelungen müssen nicht zwangsweise vom Hersteller umgesetzt werden. Ein Hersteller könn-

te eine Leistungserklärung nur mit einem Leistungsmerkmal versehen. Es gibt allerdings Marktbereiche, in denen vollständige Leistungserklärungen mit allen Leistungsmerkmalen aufgrund von Lieferbedingungen erforderlich sind.

Bisher haben lediglich die Niederlande und Deutschland Verfahren zur Erfassung und Bewertung gefährlicher Substanzen durch Auslaugen aus Geokunststoffen in nationalen Regelwerken beschrieben. Das in Deutschland bisher vornehmlich angewendete Trogverfahren zur Herstellung des Eluats nach DIN EN 1744-3 [15] oder das Schüttelverfahren nach DIN EN 12457 [16] werden unter Berücksichtigung der nunmehr anzuwendenden europäischen Regelungen durch den Tanktest nach CEN/TS 16637-2 [2] ersetzt. Das technische Verfahren zur Freisetzung gefährlicher Substanzen, die potenziell in Geokunststoffen enthalten sein können, ist damit festgeschrieben. Die Bewertung der Messergebnisse obliegt den Mitgliedsstaaten und kann sich an nationalen Anforderungen orientieren.

Das Verfahren zur Beurteilung der Umweltunbedenklichkeit von Geokunststoffen in [6] ist beispielsweise auch die Grundlage für Untersuchungen von Kunststoffspundbohlen nach DIN 16456-1 [17]. Zum Zeitpunkt der Erstellung des Merkblatts im Jahr 2005 und seiner Fortschreibung [6] sowie der DIN 16456-1 [17] wurde das Trogverfahren nach DIN EN 1744-3 [15] als Stand der Technik für die dort beschriebenen Produkte angesehen. Die DIN 16456-1 [17] enthält allerdings bereits einen Hinweis auf die CEN/TS 16637-2 [2] und den darin beschriebenen Tanktest als Prüfverfahren zur Freisetzung gefährlicher Stoffe mittels dynamischer Oberflächenauslaugprüfung.

4 Oberflächenauslaugprüfung nach CEN/TS 16637-2 [2]

4.1 Allgemeines

Die horizontale Prüfmethode nach CEN/TS 16637-2 [2] wird auch als Dynamic Surface Leaching Test (DSLIT) oder Tanktest bezeichnet. Die Methodenbeschreibung in der Norm beinhaltet keine Festlegungen zur Probennahme, der Anzahl der Prüfstücke oder ihrer Konditionierung.

In Anlehnung an die Untersuchungen der Dauerhaftigkeit von Geokunststoffen in den europäischen harmonisierten Produktnormen, z. B. DIN EN 13253 [3] für die Anwendung von Geotextilien und geotextilverwandten Produkten in Erosionsschutzanlagen (Küstenschutz, Deckwerksbau), sind Produkte im Rahmen einer Erstprüfung zu untersuchen und danach alle fünf Jahre zu evaluieren. Die Prüfung sollte jeweils an einem die Produktfamilie repräsentierenden Prüfstück durchgeführt werden.

Da davon auszugehen ist, dass vornehmlich organische Substanzen freigesetzt werden, sollte die Auslaugung in einem Glasbehälter vorgenommen werden. Die hergestellten Eluate sollten zeitnah innerhalb einer

Woche auf ihre Inhaltsstoffe analysiert werden. Die Herstellung der acht Eluate der Oberflächenauslaugung erfolgt in einem Zeitfenster von insgesamt 64 Tagen.

Das Flottenverhältnis zwischen Geokunststoff und Wasser ist beim Tanktest nach CEN/TS 16637-2 [2] nicht wie bisher in [6] massenbezogen, sondern über die Oberfläche des Geokunststoffs festzulegen. Darüber hinaus ist auch die Konzentration freigesetzter Substanzen nach dem Tanktest, die zunächst in mg/l oder µg/l ermittelt wird, für die Bewertung der Untersuchungen in eine flächenbezogene Angabe der Freisetzung gefährlicher Substanzen in mg/m² umzurechnen. Dafür ist es erforderlich, die Konzentration möglicher Substanzen auf die Oberfläche des untersuchten Bauprodukts zu beziehen, deren Ermittlungsmethoden bisher noch nicht vorgegeben sind.

4.2 Oberflächenbestimmung

Nach CEN/TS 16637-2 [2] kann bei Bauprodukten mit regelmäßigen Seitenflächen wie Kunststoffdichtungsbahnen die geometrische Oberfläche berechnet werden. Für die Ermittlung der geometrischen Fläche von sehr unregelmäßigen Bauprodukten wie z. B. Wasserbausteinen wird ein Aluminiumfolien-Verfahren beschrieben, dass für Geokunststoffe allerdings ungeeignet ist. Daher wurden in der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) unterschiedliche Ansätze untersucht und in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) verifiziert. Erste Untersuchungen zu dieser Thematik erfolgten im Rahmen einer Bachelorthesis [18].

Das **Bild 3** zeigt den Blick mit der Computertomografie in einen handelsüblichen vernadelten Vliesstoff aus Stapelfasern, also ein Geotextil. Die einzelnen Fasern berühren sich nur punktuell und bilden die Porenstruktur, die für das Filtern relevant ist und in Kontakt mit Wasser steht. Da jede einzelne Faser Oberfläche das Auslaugverhalten beeinflussen kann, ist die innere (tatsächliche) Oberfläche des Geotextils aus der



Bild 3: Blick mit der Computertomografie in ein Geotextil (vernadelten Vliesstoff)

Summe aller Faseroberflächen größer als die geometrische Oberfläche aus den Abmessungen Länge, Breite und Dicke.

Aufgrund der unterschiedlichen Beschaffenheit der Geokunststoffe kommen je nach Struktur des Produkts drei unterschiedliche Herangehensweisen bzw. Varianten in Frage:

► **Variante 1 – Produkte mit regelmäßigen Seitenflächen**

Bei Geokunststoffen, die wie Kunststoffdichtungsbahnen nach DIN EN 13491 [19] einfach geformt sind, kann die Oberfläche aus den Abmessungen des Prüfstücks berechnet werden. Geometrische und innere Oberfläche unterscheiden sich nicht.

► **Variante 2 – Produkte mit teilweise unregelmäßigen Seitenflächen**

Bei Geokunststoffen mit einer teilweise unregelmäßigen offenen Struktur, wie zum Beispiel Geogittern und Geweben, kann die innere Oberfläche aus den Abmessungen der Einzelkomponenten des Prüfstücks berechnet werden.

► **Variante 3 – Produkte mit unregelmäßigen Seitenflächen**

Bei Geokunststoffen mit einer unregelmäßigen Struktur, z.B. Geotextilien in Form mechanisch verfestigter Vliesstoffe nach DIN EN 13253 [3], ist eine Berechnung der Oberfläche möglich. Für mechanisch verfestigte Stapelfaservliesstoffe ist eine rechnerische Ermittlung der inneren Oberfläche aus Faserdurchmesser, Fadenlänge und Anzahl der Fäden pro m² möglich. Für geotextilverwandte Produkte aus Monofilamenten ist dies bei Kenntnis des Filamentdurchmessers und der Dichte des verwendeten Rohstoffs ebenfalls auf rechnerischem Wege möglich. Für thermisch verfestigte Vliesstoffe ist eine zerstörungsfreie Ermittlung der inneren Oberfläche mit Computertomografie (CT) möglich. Für andere Produkte kann die zerstörungs-

freie Methode im Rahmen der Marktüberwachung alternativ zur rechnerischen Methode angewendet werden.

Materialuntersuchungen mit CT wurden beispielsweise in [20] beschrieben. Bei der CT wird eine hohe Anzahl von Röntgenbildern der Probe erstellt und zu 3D-Voxeldaten (dreidimensionales Volumenelement) umgewandelt. Zusätzlich zum 3D-Oberflächenmodell bietet die CT auch einen Einblick in das Innenleben des Geokunststoffs (**Bild 3**). Die innere Struktur kann dargestellt, und Faserdurchmesser oder -oberfläche können ermittelt werden.

4.3 Berechnungsbeispiel für mechanisch verfestigten Stapelfaservliesstoff

Für das Berechnungsbeispiel wird ein Vliesstoff mit folgenden Kennwerten angenommen:

- Faserdurchmesser d: 25 µm
- Faserfeinheit: 7 dtex (7 g/10.000 m Faserlänge)
- Flächenbezogene Masse: 700 g/m²
- Dicke des Vliesstoffs bei 2 kPa: 4 mm

Die Oberfläche O pro 10.000 m Faserlänge ergibt sich zu:

$$\begin{aligned} O &= (0,5 \cdot d)^2 \cdot \pi \cdot 2 + d \cdot \pi \cdot l \\ &= (0,5 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \text{ m})^2 \cdot \pi \cdot 2 + 25 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \pi \cdot 10.000 \text{ m} \\ &= 0,785398 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Ein Quadratmeter dieses Geotextils mit 700 g/m² flächenbezogener Masse hat 700 g : 7 g = 100 Fasern/m², von denen jede 10 km lang ist. Daraus ergibt sich eine innere Oberfläche pro m² Geotextil:

$$O = 100 \cdot 0,785398 \text{ m}^2 = 78,5398 \text{ m}^2 = \text{ca. } 80 \text{ m}^2$$

Der Vliesstoff mit einer Grundfläche von 1 m² mit einer Dicke von 4 mm hat eine geometrische Oberfläche von nur 2,02 m². **Bild 4** verdeutlicht den Unterschied zwischen der geometrischen und der inneren Oberfläche im Rechenbeispiel.

Im Falle der Geokunststoffe handelt es sich um folien- und plattenartige Produkte, bei denen für die Bestimmung des Flüssigkeit-Oberflächen-Verhältnisses (L/A) ein Faktor von mehr als 20 verwendet werden soll. Für ein Prüfstück mit einer Grundfläche von 5 x 5 cm² würde im Falle des vernadelten Vliesstoffs in diesem Beispiel mit einer inneren (tatsächlichen) Oberfläche von ca. 0,2 m² ein Volumen des Auslaugmittels von ca. 4 l benötigt.

Nach CEN/TS 16637-2 [2] soll ein Wasser entsprechend der Qualität der Klasse 3 nach EN ISO 3696 [21] als Auslaugmittel zum Einsatz kommen. Bedingt durch die große innere Oberfläche werden allerdings nur geringe Massen an Geokunststoff in vergleichsweise großen Volumina Wasser eluiert – im Beispiel 1,75 g

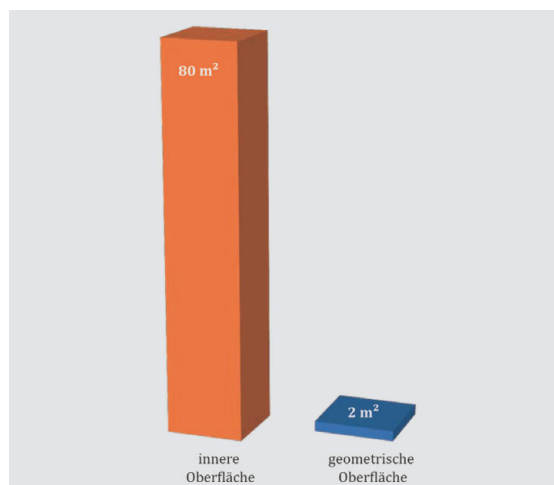


Bild 4: Innere (links) und geometrische (rechts) Oberfläche des mechanisch verfestigten Stapelfaservliesstoffs mit 600 g/m² flächenbezogener Masse

in 4 l. Um eluierbare Bestandteile trotzdem noch ohne nennenswerte Blindwerte aus dem Elutionsmittel selbst bestimmen zu können, ist zu empfehlen, erhöhte Anforderungen an das Wasser zu stellen.

5 Vermeidung von Mikroplastik

In der öffentlichen Wahrnehmung gewinnt das Themenfeld „Mikroplastik in der Umwelt“ immer mehr an Bedeutung. Unter Mikroplastik werden in der Regel Partikel mit Größen unter 5 mm verstanden. Primäres Mikroplastik wurde beispielsweise für Kosmetikartikel gezielt hergestellt. Sekundäres Mikroplastik ist mengenmäßig größer und entsteht dagegen durch Degradation makroskopischer Partikel, z. B. durch chemisch reaktive Alterungsvorgänge wie Oxidation. Die Produktion und die Verwendung von Kunststoffen nahm nach dem zweiten Weltkrieg immer mehr zu. In der öffentlichen Diskussion gibt es sehr häufig keine Unterscheidung zwischen Mikroplastik, das in Gewässer durch verschiedene Transportvorgänge oder als Müll eingebracht wird, und Bauprodukten, wie Geokunststoffen, die gezielt dauerhaft ausgerüstet werden und an denen kein Abbau festgestellt wurde. Sehr häufig wird auch übersehen, dass Geokunststoffe in ihren Anwendungen in der Regel keiner direkten UV-Strahlung und nur sehr eingeschränkt Temperaturschwankungen unterliegen. Seit den 1960er-Jahren gibt es Anwendungen mit Geokunststoffen an Bundeswasserstraßen. Eine Degradation durch Alterungsprozesse könnte leicht durch eine Verminderung der Filtereigenschaften festgestellt werden.

Bei ISO TC 221 „Geokunststoffe“ wurde gerade ein Normentwurf [22] für eine Prüfmethode vorbereitet, die auf einem Verfahren der BAW basiert, das in den 1970er-Jahren des vorigen Jahrhunderts entwickelt wurde und den Abrieb von Geokunststoffen in einer rotierenden Trommel simuliert (**Bild 5**). Die Proben werden hier mit einer Rotationsgeschwindigkeit von 16 U/min 40.000 Umdrehungen gegen den Uhrzeigersinn und 40.000 Umdrehungen im Uhrzeigersinn einem abrasiven Basalt-Wasser-Gemisch ausgesetzt. Alle 5.000 Umdrehungen wechselt die Richtung. Am Ende des Versuchs liegt das Abriebgut im Gemisch mit den 4 kg Basalt-Splitt und 8 l Wasser vor. Diese Methode wird auch außerhalb Deutschlands, z. B. in Indien und in Bangladesch, zum Nachweis der Abriebbeständigkeit von Sandsäcken eingesetzt [23].

Mit dieser Prüfmethode kann die Entstehung von Mikroplastik bei Proben mit einem geringen Abriebwiderstand simuliert werden. **Bild 6** zeigt exemplarisch ein für den Verkehrswasserbau handelsübliches Geotextil, einen 6 mm dicken, vernadelten Vliesstoff mit einer flächenbezogenen Masse von 750 g/m², nach der Abriebbeanspruchung. Es ist keine Schädigung der Filamente erkennbar. **Bild 7** zeigt dagegen ein Gewebe, das üblicherweise nicht im Wasserbau eingesetzt wird. Hier zeigen sich geschädigte Fasern, was auf die Bildung von Mikroplastik hindeutet. Tatsächlich finden sich



Bild 5: Trommelanlage zur Untersuchung der Abriebbeständigkeit von Geotextilien

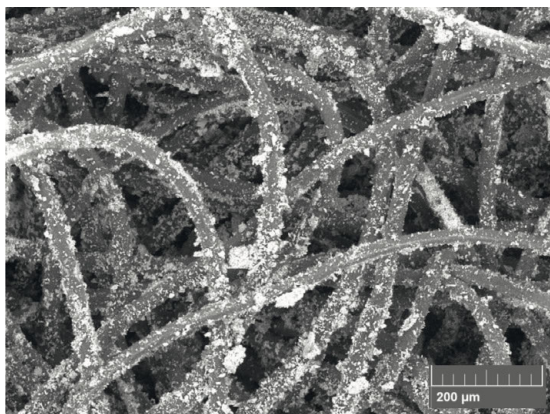


Bild 6: Abriebbeständiges vernadeltes Geotextil, keine Schädigung der Fasern nach 80.000 Umdrehungen in der Abriebtrommel [24]



Bild 7: Gewebe mit geschädigten Fasern nach 80.000 Umdrehungen in der Abriebtrommel [23]

nach dem Test auch Kunststoffpartikel im anfallenden Abriebgut.

6 Logistik und Ressourcenschonung

Wenn die für Wasserstraßen erforderliche Filterschicht aus einem Geotextil mit einer Masse unter 1 kg je m² Filterfläche hergestellt werden kann, resultieren gegenüber einem Filter aus Gesteinskörnungen zunächst logistische Vorteile. Für einen zweistufigen Filter aus Gesteinskörnungen mit einer Dicke von 2 dm je Schicht und einer Schüttdichte von 1,45 kg/dm³ ergeben sich beispielsweise für eine Filterfläche von 1 m² folgendes Volumen V und folgende Masse m₁ an Gesteinskörnung:

- ▶ $V = 2 \cdot 2 \text{ dm} \cdot 10 \text{ dm} \cdot 10 \text{ dm} = 400 \text{ dm}^3$
- ▶ $m_1 = 400 \text{ dm}^3 \cdot 1,45 \text{ kg/dm}^3 = 580 \text{ kg}$

Der geringere Aufwand für Transport und Einbau einer geotextilen Filterschicht bedeutet auch weniger Kraftstoffkosten und eine Ressourcenschonung.

7 Zusammenfassung und Fazit

Die Europäische Bauproduktenverordnung EU-BPVO [1] stellt Grundanforderungen an Bauwerke. Eine dieser Grundanforderungen betrifft den Umweltschutz. Die Freisetzung gefährlicher Stoffe in Grundwasser, in Meeresgewässer, Oberflächengewässer oder Boden muss in der jeweiligen europäisch harmonisierten Produktnorm behandelt werden. Auf europäischer Ebene wurde eine Prüfmethode entwickelt, die das Freisetzungsszenario von Substanzen aus Bauprodukten in das Umgebungsmedium Wasser über den sogenannten Auslaugtest nach CEN/TS 16637-2 [2] beschreibt. Die Randbedingungen für das Verfahren der Oberflächenauslaugung müssen durch das Technische Produktkomitee (TC) präzisiert werden. Dazu werden in diesem Beitrag die Anwendung der Prüfmethode für Geokunststoffe diskutiert und verschiedene Varianten für die Bestimmung der tatsächlich beanspruchten und in Kontakt mit Wasser stehenden Oberfläche beschrieben.

Geokunststoffe sind eine bedeutsame Basis für technisch und wirtschaftlich vorteilhafte Lösungen im Verkehrswegebau. Auch unter ökologischen Aspekten können Geotextilien vorteilhafte Lösungen darstellen. Ihre diesbezügliche Leistungsfähigkeit u. a. im Hinblick auf das Auslaugverhalten oder auf die Bildung von Mikroplastik kann über entsprechende Prüfverfahren beurteilt und sichergestellt werden.

8 Literatur

- [1] Verordnung (EU) Nr. 305/2011, EU-Bauproduktenverordnung (EU-BauPVO) (2011): <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:DE:PDF>.
- [2] DIN CEN/TS 16637-2: Bauprodukte - Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen - Teil 2: Horizontale dynamische Oberflächenauslaugprüfung. Berlin, Beuth: 2014-11.
- [3] DIN EN 13253: Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Geforderte Eigenschaften für die Anwendung in Erosionsschutzanlagen (Küstenschutz, Deckwerksbau); Deutsche Fassung EN 13253:2016-12.
- [4] BMVI: Technische Lieferbedingungen für Geotextilien und geotextilverwandte Produkte an Wasserstraßen (TLG). Ausgabe 2018, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur Abteilung Wasserstraßen, Schifffahrt. EU-Notifizierung Nr. 2018/206/D vom 15.05.2018. Berlin, 2018.
- [5] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). Ausfertigungsdatum 12.07.1999, zuletzt geändert 27.9.2017.
- [6] FGSV e.V. (Hrsg.): Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus – M Geok E. Köln: FGSV, 2016.
- [7] FGSV e.V. (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau - ZTV E-StB 17. Köln: FGSV, 2017.
- [8] Europäisches Parlament und Rat: Richtlinie (EU) 2015/1535 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft vom 9. September 2015.
- [9] BASt (2017): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-ING, Teil 5 Tunnelbau, Abschnitt 5 Abdichtung von Straßentunneln mit Kunststoffdichtungsbahnen und zugehörige TL/TP KDB und TL/TP SD. Online: www.bast.de
- [10] DGGT (Hrsg.): Empfehlungen zu Dichtungssystemen im Tunnelbau EAG-EDT. 2. Auflage, 2018, Verlag Ernst & Sohn.
- [11] DB Netze AG: Geokunststoffe für den Eisenbahnbau. Technische Lieferbedingungen, DBS 918 039. Frankfurt/Main: DB AG, 2015.
- [12] DB Netz AG: Module 853.4201 und 853.4202, Ril 853 Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten, 2018.
- [13] DIN CEN/TS 16367-3: Bauprodukte - Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen - Teil 3: Horizontale Perkulationsprüfung im Aufwärtsstrom. Berlin: Beuth, 2016-12.
- [14] DIN CEN/TS 16637-1: Bauprodukte - Bewertung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen - Teil 1: Leitfaden für die Festlegung von Auslaugprüfungen und zusätzlichen Prüfschritten. Berlin: Beuth, 2018-12.
- [15] DIN EN 1744-3: Prüfverfahren für chemische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 3: Herstellung von Eluaten durch Auslaugung von Gesteinskörnungen. Berlin: Beuth, 2002-11.
- [16] DIN EN 12457-1: Charakterisierung von Abfällen - Auslaugung; Übereinstimmungsuntersuchung für die Auslaugung von körnigen Abfällen und Schlämmen - Teil 1: Einstufiges Schüttelverfahren mit einem Flüssigkeits-/Feststoffverhältnis von 2 l/kg und einer

- Korngröße unter 4 mm (ohne oder mit Korngrößenreduzierung). Berlin: Beuth, 2003-01.
- [17] DIN 16456-1: Kunststoffspundbohlen - Extrudierte Spundbohlen aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U) – Teil 1: Produkt. Berlin: Beuth, 2017-10.
- [18] Pineda, A.: Oberflächenbestimmung von im Verkehrswasserbau verwendeten Geokunststoffen für die Beurteilung der Freisetzung von gefährlichen Stoffen in Gewässer. HS Karlsruhe. Karlsruhe, 2018.
- [19] DIN EN 13491: Geosynthetische Dichtungsbahnen - Eigenschaften, die für die Anwendung beim Bau von Tunneln und damit verbundenen Tiefbauwerken erforderlich sind. Berlin: Beuth, 2018-07.
- [20] Weiß, R.; Kühn, S.; Schultz, F.: Zerstörungsfreier Blick ins Bauteilinnere – die Computertomographie. In: Dichtungstechnik Jahrbuch 2011, pp. 30-37.
- [21] DIN EN ISO 3696: Wasser für analytische Zwecke; Anforderungen und Prüfungen. Berlin: Beuth, 1991-06.
- [22] ISO/DIS 22182:2019-04 - Draft: Geotextiles and geotextile-related products - Determination of abrasion resistance characteristics under wet conditions for hydraulic applications.
- [23] Oberhagemann, K.; Stevens, M. A.; Haque, S. M. S.; Faisal, M. A. (2006): Geobags for Riverbank Protection. In: Verheij, H. J.; Hoffmans, G. J. (Hrsg.). Proceedings 3rd International Conference on Scour and Erosion (ISCE-3). 1.-3. November 2006. Amsterdam: CURNET, S. 494-501.
- [24] Karlsruher Institute of Technology (KIT): Mikroskopische Aufnahmen von Geokunststoffen. Karlsruhe: 2018.

Dipl.-Ing. Matthias Maisner

ist Mitarbeiter in der Abteilung Bautechnik im Referat Baustoffe der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe, Deutschland.



Kontakt: matthias.maisner@baw.de

Dr.-Ing. Jan Retzlaff

ist Geschäftsführer der GEOscope GmbH & Co. KG, Weimar, Deutschland



Kontakt: j.retzlaff@geoscope.eu

Dr. Christian Dietrich Dipl.-Chemiker

ist Mitarbeiter im Referat G2 Gewässerchemie der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz, Deutschland.



Kontakt: christian.dietrich@bafg.de



www.geobrugg.com/projekte



Geobrugg AG | CH-8590 Romanshorn | www.geobrugg.com

Geogewebe – Anwendungen und Funktionen

Industrieverband Geokunststoffe e.V., Obernburg, Deutschland

1 Einleitung

Eine der Hauptaufgaben des IVG (Industrieverband Geokunststoffe e.V.) ist die Aufklärung über die Einsatzmöglichkeiten von Geokunststoffen und deren richtige Anwendung. Nach einem Artikel über Geovliesstoffe [1] und einem über Geogitter [2] behandelt dieser Artikel Geogewebe (**Bild 1**). Eine ausführliche Anwenderinformation ist beim IVG erhältlich [3].

2 Was sind geotextile Gewebe?

Geogewebe gehören zur Gruppe der Geotextilien unter den Geokunststoffen (**Tabelle 1**). Gegenüber Geovliesstoffen sind sie durch sich kreuzende Fadensysteme (Kette und Schuss) gekennzeichnet. Die verschiedenen geotextilen Gewebearten unterscheiden sich durch:

- ▶ Die Art der Garne (Spinnfasergarne, Multifilamentgarne, Zwirne, Monofilamente, Folienbändchen, Spleißgarne (**Bilder 2 und 3**))
- ▶ Die Verwebung – auch Bindung genannt – z. B. Leinwand-, Panama- und Körperbindung
- ▶ Die Anzahl der Fäden je Längeneinheit
- ▶ Optionale zusätzliche Verfestigung der Kreuzungspunkte



Bild 1: Anwendungsbeispiel eines konfektionierten Geogewebes
Quelle: Huesker

Dieser Artikel erläutert dem Anwender geotextile Gewebe und ihre Hauptanwendungsgebiete und gibt Hinweise zu Planung und Bemessung.

**Geotechnik • Geokunststoffe • Planung
Bemessung**

3 Überlegungen zum Einsatz geotextiler Gewebe

Gewebe werden eingesetzt, wenn eine bewehrende und/oder trennende Wirkung gefordert wird. **Tabelle 2** gibt einen Überblick der Gewebearten und Hauptanwendungsgebiete. Ihre mechanischen Eigenschaften sind durch die Anordnung der Fäden in Ketten- und Schussrichtung geprägt und daher richtungsabhängig. Beim Zerreißen eines oder mehrerer Garne verliert das Gewebe in Garnrichtung einen Teil seiner Festigkeit.

Die Reibung und Haftung zwischen Boden und Gewebe ist im Wesentlichen von der Wechselwirkung Boden/Gewebestruktur und der großflächigen Anpassungsfähigkeit an die Unebenheit der Auflage abhängig.

Die filtertechnischen Eigenschaften sind gekennzeichnet durch die charakteristische Öffnungsweite und die Wasserdurchlässigkeit. Dabei ist zu beachten:

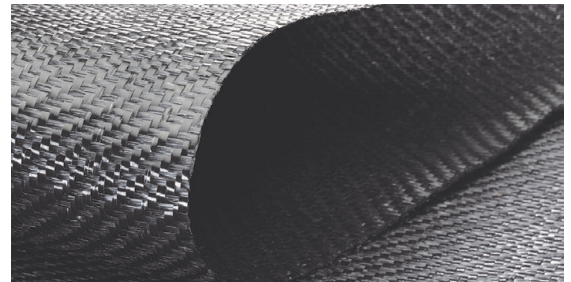


Bild 2: Bändchengewebe aus PP, GRK 3
Quelle: Huesker

Tabelle 1: Übersicht Geokunststoffe

Quelle: IVG

	Geokunststoffe (GSY)		
	Geotextilien (GTX)	Geotextilverwandte Produkte	Geosynthetische Dichtungsbahnen (GBR)
Produktgruppen	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Geovliesstoffe (GTX-NW) ▶ Geogewebe (GTX-W) ▶ Geomaschenware (GTX-K) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Geogitter (GGR) ▶ Geonetze (GNT) ▶ Geozellen (GCE) ▶ Geostreifen (GST) ▶ Geomatten (GMA) ▶ Geospacer (GSP) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Kunststoffdichtungsbahnen (GBR-P) ▶ Tondichtungsbahnen (GBR-C)
Einteilungsmerkmal	Verbundstoffe (GP) wasserdurchlässig		wasserundurchlässig

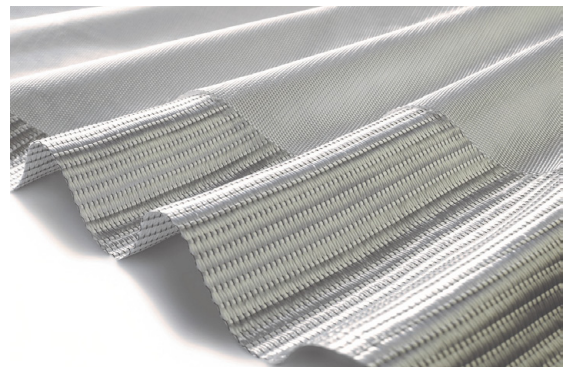


Bild 3: Gewebe aus PET-Multifilamentgarnen
Quelle: Tencate



Bild 4: Anwendungsbeispiele für Gewebe, links unter Baustraße in der Mitte zwischen Pfahlgründungen und rechts zweilagig
Quelle: TenCate Geosynthetics

- ▶ Zusammendrücken beeinträchtigt die Filtereigenschaften kaum.
- ▶ Dehnung kann die Gewebeöffnungen verändern.
- ▶ Verringerung der Wasserdurchlässigkeit durch Auflast und Bodenkontakt ist bei filtertechnischer Bemessung relevant.

Bei den derzeit eingesetzten Rohstoffen kann von einer hohen Alterungsbeständigkeit ausgegangen werden, sofern die Geogewebe die Einbauphase ohne die Funktion beeinflussende Schäden überstanden haben. Geotextile Gewebe in einem Erdkörper können Zugkräfte aufnehmen. Eine Verminderung von Verformungen und Verformungsdifferenzen in bewehrten Erdkörpern ist möglich [1].

Durch ihre hohe Flexibilität ermöglicht die Verwendung von Geogeweben wirtschaftliche Lösungen. So können hochzugfeste Gewebe entsprechend den Anforderungen der jeweiligen Baumaßnahme produziert werden. Oft werden beispielsweise unterschiedliche Festigkeiten in Längs- und Querrichtung benötigt. Auch können die Rollenbreiten und -längen an den Verlegeplan angepasst werden. Die baustellenbezogene Konfektionierung und Lieferung trägt zur Reduzierung der Verlegekosten bei (Bilder 1 und 4).

4 Planung und Bemessung

Planung und Bemessungsverfahren sind von der Anwendung abhängig (Tabelle 2). Die beiden wichtigsten Bemessungsansätze A und B werden nachfolgend dargestellt. Bei Sonderanwendungen werden projektbezogene Bemessungsverfahren und Nachweise vom jeweiligen Anbieter erstellt.

Bemessungsansatz A

Bemessungsansatz A wird bei Erhöhung der Tragfähigkeit gebundener oder ungebundener Unterbauten bei einfachen Tragschichten auf Böden mit ausreichend guter Tragfähigkeit und niedriger Belastung angewendet.

Das Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus M Geok E [4] enthält im Kapitel 7.5 „Feststellung der mechanischen Beanspruchung durch Schüttmaterial und Baubetrieb“

die ausführliche Anleitung zur Feststellung der erforderlichen Geotextilrobustheitsklasse (GRK) des eingesetzten Geotextils. Der Umfang der mechanischen Beanspruchung eines Geotextils auf einer Baustelle wird bestimmt durch:

- ▶ Die Bodengruppe des Schüttmaterials
- ▶ Die Untergrundfestigkeit
- ▶ Den Baubetrieb

Die Ermittlung erfolgt anhand von Tabellen, und eine Berechnung ist nicht erforderlich. Die Bestimmung der GRK für geotextile Gewebe aus Folienbündchen oder Spleißgarnen erfolgt nach Tabelle 3 im Kapitel 7.2.6.1 der M Geok E [4].

Der Klassenwert der GRK ergibt sich aus dem 5%-Mindestquantil der Höchstzugkraft $\text{erf. } T_{\max, 5\%}$ und dem 5%-Mindestquantil der Masse pro Flächeneinheit $\text{erf. } m_{A, 5\%}$ (Tabelle 3) [4]. Zur Bestimmung der GRK bei Vliesstoffen ist hingegen anstelle der Höchstzugkraft die Stempeldruckkraft relevant.

Tabelle 2: Geotextile Gewebearten und ihre Hauptanwendungsgebiete
Quelle: IVG

	Gewebeart	Rohstoff	Zugfestigkeit [kN/m]	Anwendungsbereich	Auswahl nach [4 und 5]
Standardanwendung	Bündchengewebe aus Folienbündchen oder Spleißgarnen	PP	20 bis 100	Trennen, Filtern, Bewehren im Straßen- und Wegebau, Erhöhung der Tragfähigkeit gebundener oder ungebundener Unterbauten bei einfachen Tragschichten auf Böden mit ausreichend guter Tragfähigkeit und niedriger Belastung	GRK nach M Geok E, 7.2.6.1 Tabelle 3 (Bemessungsansatz A)
	Hochzugfeste Bewehrungsgewebe aus Multifilamentfasern	PET, PVA	bis 2.800	langfristige Bodenbewehrung z.B. Bewehrung der Aufstandsfläche von Erddämmen	EBGEO (Bemessungsansatz B)
Sonderanwendung	Filtergewebe aus Monofilamenten und Bündchen	PEHD		Entwässerungs- und Versickerungssysteme, Deckwerke, Uferschutz	herstellerbezogene Nachweise
	Gewebe als nahtlose, zylindrische Bewehrungshülle			Bewehrungshülle für Säulen z.B. geokunststoffummantelte Sandsäulen zur Gründung von Erdbauwerken auf gering tragfähigem Untergrund	herstellerbezogene Nachweise

Tabelle 3: Geotextilrobustheitsklassen für Gewebe aus Folienbändchen oder Spleißgarnen (PP oder PE)

Quelle: IVG

Geotextilrobustheitsklasse (GRK)	Höchstzugkraft erf. T _{max 5%}	Masse pro Flächeneinheit erf. M _{A, 5%}
3	≥ 35 kN/m	≥ 180 g/m ²
4	≥ 45 kN/m	≥ 220 g/m ²
5	≥ 50 kN/m	≥ 250 g/m ²

Bemessungsansatz B

Bemessungsansatz B wird bei langfristiger Bodenbewehrung (z.B. Bewehrung der Aufstandsfläche von Erddämmen) mit hochzugfestem Bewehrungsgewebe aus Multifilamentfasern angewendet.

Für die Planung und Bemessung sind die EBGeo [5] und die einschlägigen geotechnischen Normen DIN 1054; DIN 4084 und DIN-EN 1997-1 heranzuziehen. Dabei sind im Zuge der Nachweisführung beim Bauen auf gering tragfähigem Untergrund bauzeitliche Verformungen und die daraus resultierenden Spannungskonzentrationen und Verformungen aus Bauzuständen explizit zu berücksichtigen.

5 Generelle Anforderungen und Hinweise zu Geokunststoffen

Angaben zur Witterungsbeständigkeit, zur Güteüberwachung und Qualitätssicherung sowie zum umweltschonenden Bauen können [1 oder 3] entnommen werden. Die in [1] enthaltenen Angaben zu Geovliesstoffen gelten auch für geotextile Gewebe.

Schlussbemerkungen

Dieser Artikel basiert insbesondere auf dem „Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus (M Geok E)“ [4] und gibt einen Überblick zu den Funktionen von Geogeweben, den Anwendungsmöglichkeiten im Erd- und Grundbau und Hinweise zu Produktauswahl und Bemessung.

Quellen

- [1] Industrieverband für Geokunststoffe e. V. (IVG): Geovliesstoffe für die Anwendung im Erdbau des Straßen-, Eisenbahn- und Wasserbaus. GeoResources Zeitschrift (4-2018), S. 18–22. Online: <https://www.georesources.net/download/GeoResources-Zeitschrift-4-2018.pdf>
- [2] Industrieverband für Geokunststoffe e. V. (IVG) (2019): Was Sie über Geogitter wissen sollten. GeoResources Zeitschrift (1-2019), S. 31–34. Online: <https://www.georesources.net/download/GeoResources-Zeitschrift-1-2019.pdf>
- [3] IVG: Geotextile Gewebe – Anwendungen und Funktionen. Online: http://www.ivgeokunststoffe.de/images/fachinformationen/ivg.Downloads/19_07/ivgGewebe_30_04_19_Ko.pdf
- [4] FGSV Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau: Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus, M Geok E. Ausgabe 2016, FGSV 535, FGSV Verlag, Köln
- [5] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT): Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrung aus Geokunststoffen, EBGeo. 2. Auflage, 2010, Verlag Ernst & Sohn

Industrieverband
Geokunststoffe e. V.

**Ihr IVG,
Ihr Partner bei
Geokunststoffen,
firmenübergreifend.**

**Geotextile Gewebe –
Anwendungen und Funktionen**

IVG





25 Jahre
IVG.

Geokunststoffe,
immer ein guter Grund.

Ihr IVG
www.ivgeokunststoffe.de

Giffhorn Design

Industrieverband Geokunststoffe e. V.

Im Industrieverband Geokunststoffe e. V. (IVG) haben sich aktuell zehn Unternehmen zusammengeschlossen, die Geokunststoffe für den Baubereich entwickeln, herstellen und vertreiben. Geokunststoffe trennen, filtern, dränen, schützen, bewehren, dichten, verpacken und schützen vor Erosion.

Kontakt:

www.ivgeokunststoffe.de
info@ivgeokunststoffe.de

Ösengabionensystem mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung

Prof. Dr.-Ing. Matthias Nimmesgern, FH Würzburg-Schweinfurt, Deutschland
Wolfgang Schmauser, Hoy Geokunststoffe GmbH, Kesselsdorf, Deutschland

Zur Entstehung der Gabionenbauweise

Mit Verwandlung der Naturlandschaft zur Kulturlandschaft hat der Mensch gelernt, die zur Verfügung stehenden Ressourcen zu nutzen. Um steile Hanggrundstücke für eine landwirtschaftliche Produktion optimal zu erschließen, wurden sie mithilfe von Trockenmauern terrassiert (**Bild 1**). Schon bald wurde festgestellt, dass damit nicht nur die Erosion und die Bearbeitung des Geländes beherrschbarer wurden, sondern dass die Mauern zusätzlich als Wärmespeicher zur Verfügung standen und das Mikroklima verbessert wurde. Auch konnten in den Hohlräumen der Mauern nützliche Kleinlebewesen einen Lebensraum finden, wodurch ein funktionierendes Ökosystem entstand. In unserer inzwischen hochtechnisierten Welt bezeichnet man heute derartige Situationen als „Win-win-Situation“ und muss diese mit großem Aufwand künstlich herstellen. Im Laufe der Jahre wurde die Technologie zur Herstellung von Trockenmauern perfektioniert. Die Steine müssen witterungsbeständig sein, um dauerhaft Frost-Tauwechseln widerstehen zu können. Zusätzlich muss eine funktionierende Drainage eingebracht werden, so dass kein Wasserdruck auf die Mauerrückseite einwirkt. Im alpinen Bereich hat man damit bei Erosionsschutzmaßnahmen erste Erfahrungen gesammelt. Die vorhandenen Steine konnten ohne aufwendige Bearbeitung in eine Drahtkorbstruktur verbaut werden. Der Zusammenhalt der Gesteinsmasse ist aber nur solange gewährleistet, wie die Drahtstruktur der Korrosion widersteht. Die Zeitdauer dieses Zersetzungsprozesses ist von den Umgebungsbedingungen und vor allem von den Drahtmaterialeigenschaften abhängig (**Bild 2**).

In den 1970er-Jahren wurden in der Schweiz geschweißte Drahtgittermatten mit einem wirksamen Korrosionsschutzüberzug aus Galfan – einer Legierung aus 95 % Zink und 5 % Aluminium – entwickelt. Angeformte verschweißte Ösen erlaubten ein Fügen der Gittermatten zu kubischen, geschlossenen Quadern, die ästhetisch ansprechende Konstruktionen ermöglichten. Mit steigendem Umweltbewusstsein ersetzten derartige Gabionenstützmauern zunehmend traditionelle Betonstützkonstruktionen und erwiesen sich zudem als wirtschaftlichere Alternative (**Bild 3**).

Notwendigkeit von Regelwerken

Mit zunehmender Anzahl der Gabionenbauwerke zeigten sich große Unterschiede in der Qualität. Manche

Gabionenkonstruktionen kommen zunehmend in der Praxis als Stützbauwerke zur Anwendung. Die Hoy Geokunststoffe GmbH entwickelte ihr Gabionensystem Quicky Forte 2000 weiter und erhielt dafür eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt). Dieser Artikel erläutert die geleistete Entwicklungsarbeit und im Zulassungsverfahren erbrachte Prüfungen und Nachweise.

Geotechnik • Stützbauwerke • Gabionen • F&E • Regelwerke • Zulassung

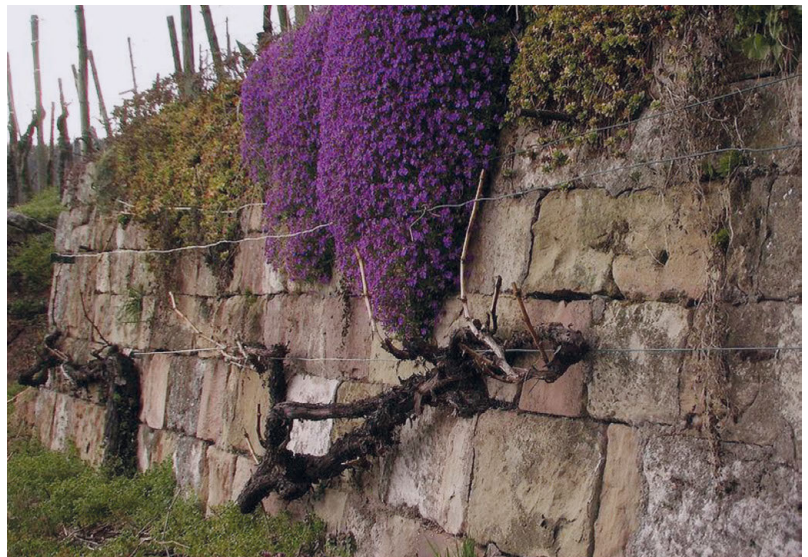


Bild 1: Trockenmauer eines Weinbergs

Foto: Wikipedia



Bild 2: Gabionenkonstruktion mit zersetzten Drahtkörben

Foto: Nimmesgern



Bild 3: Stützmauer mit Gabionen in Monschau, Deutschland

Foto: Hoy Geokunststoffe GmbH

sogar relativ niedrige Konstruktionen wiesen während der Erstellung bereits große Eigenverformungen auf (**Bild 4**). Einige dieser Konstruktionen mussten deshalb sofort nach der Erstellung rückgebaut werden. Andere erfreuten den Bauherrn und die Betrachter durch ihre ästhetische Anpassung an die vorhandene Landschaftsstruktur. Also folgten Diskussionen, wie langfristig zufriedenstellende Bauwerke sichergestellt werden können. Von den öffentlichen Auftraggebern wurde die Notwendigkeit von Regelwerken erkannt. Aus diesem Grund wurde ein Merkblatt mit grundlegenden Anforderungen erarbeitet und nach einigen Jahren überarbeitet [1, 2]. Ausgehend vom Bundesland Bayern wurden zusätzliche Spezifikationen für die Gesteinsbefüllung und die Drahtmaterialien erarbeitet [3 bis 5].

Weiterentwicklung des Gabionensystems

Zu Beginn des neuen Jahrtausends dachte die Hoy Geokunststoffe GmbH, Kesselsdorf, über mögliche Qualitätsverbesserungen bei Material und Bauweise ihres Gabionensystems nach. Dabei sollte zunächst der Korrosionsschutzüberzug derart verbessert werden, dass konkrete Aussagen über die Dauerhaftigkeit auch nach eventueller Einbaubeschädigung des Überzugs durch die Befüllung mit teilweise harten Gesteinen ermöglicht werden. Zudem sollten sämtliche Einzelschritte



Bild 4: Verformte Gabionenkonstruktion

Foto: Nimmegern

zur Erstellung der Konstruktion so beschrieben werden, dass diese als sogenannte „geregelte Bauweise“ mit einer Betonkonstruktion vergleichbar ist.

Zur Verbesserung der Eigenschaften des Drahtüberzugs wurden Versuchsreihen gestartet, um zu überprüfen, ob mit anderen metallischen Zuschlägen im Überzug ein besserer Schutz gegen Beschädigungen beim Einbau der Steine und eine höhere Beständigkeit im Bereich des Eintrags von Streusalz sichergestellt werden können. Der bis dahin üblicherweise verwendete Überzug mit 95 % Zink- und 5 % Aluminiumanteil befindet sich exakt am sogenannten Eutektikum. Das ist das Mischungsverhältnis der Legierung, bei dem diese mit der niedrigsten Temperatur und dem niedrigsten Energiebedarf zu schmelzen beginnt. Mit umfangreichen Testreihen konnte ein Überzugsverhältnis mit höherem Aluminiumanteil und besserem duktilen Verhalten bei der Verarbeitung der Drähte gefunden werden. Dadurch wird die Nutzungsdauer der Konstruktionen gegenüber einem konventionellen Überzug mit gleicher Dicke deutlich erhöht. Außerdem konnte gezeigt werden, dass die mechanische Festigkeit der Schweißverbindung dem konventionellen Überzug ebenbürtig ist. Da mit dem erhöhten Aluminiumanteil an der Legierung das Eutektikum verlassen wurde, ist eine höhere Temperatur zum Aufschmelzen erforderlich, was zu einem homogeneren Überzug führt. Erstaunlicherweise zeigte sich, dass dieser Überzug ein deutlich besseres Verhalten gegenüber Einbaubeanspruchungen und Salzangriff aufwies. Deshalb wurde dieser vielversprechende Überzug patentiert und wird derzeit unter der Bezeichnung „Bezinal 2000“ vermarktet [6].

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

Mit diesen Erkenntnissen wurden im Jahr 2006 Gespräche mit der Zulassungsbehörde, dem Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin, über die Beantragung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung geführt. Diese Vorgehensweise zur Etablierung neuer Bauverfahren hat sich in der Vergangenheit bereits bewährt, beispielsweise für die Bodenvernagelung. In den Gesprächen ergaben sich zahlreiche Fragen, die teilweise nur mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, und anderen Prüfeinrichtungen als lösbar erachtet wurden. Ende des Jahres 2008 reichte die Hoy Geokunststoffe GmbH einen offiziellen Antrag auf Zulassung ein. Dazu wurde ein Fragenkatalog bzw. Lastenheft erarbeitet:

- ▶ Grundsätzlich muss die Konstruktion wie jedes Tragwerk im Bauwesen „berechenbar“ sein, d. h. dass die Gebrauchstauglichkeit und die Tragfähigkeit im Sinne des Eurocodes 7 [7 bis 9] dauerhaft gewährleistet werden müssen.
- ▶ Wie groß ist die Beanspruchung der Drahtstruktur und wie muss die Drahtstruktur ausgebildet sein (Drahtstärke, Eigenschaften der Drähte, Rastermaß, Anordnung der Drähte)?

- ▶ Wie kann die Dauerhaftigkeit des Korrosionsschutzüberzugs auch nach eventueller Einbaubeschädigung und im jeweiligen Einbaumilieu sichergestellt werden?
- ▶ Welche Anforderungen sind an die Gesteine zu stellen?
- ▶ Von welchen Parametern ist die Wechselwirkung zwischen Steinen und Drahtstruktur abhängig? Härtere Gesteine lassen beispielsweise eine stabilere Konstruktion erwarten und sind dauerhafter, beanspruchen aber den Korrosionsschutzüberzug mehr als weichere.
- ▶ Aus Gründen der Begrenzung der Verformungen ist eine dichtere Gesteinspackung zu bevorzugen. Deshalb wird eine sogenannte „hohlraumarme“ Befüllung gefordert. Es sind Kriterien zu erarbeiten, wann eine Befüllung hohlraumarm ist.
- ▶ Wie kann die Hohlraumarmut auf der Baustelle sichergestellt werden?
- ▶ Wie wirken sich einzelne befüllte Körbe auf das Verhalten der gesamten Konstruktion aus?
- ▶ Müssen die Körbe mechanisch verbunden werden, oder reichen eine Stapelung und der Reibungskontakt aus?

Zusätzlich ist, wie bei Bausystemen üblich, nachzuweisen, dass die untersuchten und bewerteten Systembestandteile auch bei der Anwendung in übereinstimmender Qualität mit der Erstprüfung eingesetzt werden. Dies ist mit Hinterlegung der genauen chemischen und physikalischen Grundwerkstoffe (Rezeptur) und mit kontinuierlicher Güteüberwachung zu gewährleisten.

Bei der Diskussion der teilweise sehr komplexen Fragestellungen wurde schnell klar, dass eine stufenweise Bearbeitung zielführend ist, um in vertretbarer Zeit die Erteilung einer Zulassung zu erreichen. Deshalb wurde die Antragstellung auf bis zu 6 m hohe Schwergewichtsmauern aus monolithisch verbundenen Ösengabionen begrenzt.

Versuche zur Erlangung der Zulassung

Im ersten Schritt wurden im Jahr 2010 6 m hohe Versuchsmauern mit verschiedenen Hartgesteinen unter fachkundiger Begleitung durch die BAM erstellt und danach wieder zurückgebaut (**Bilder 5 und 6**). Um eine hohlraumarme Befüllung zu gewährleisten, wurden die Schichten der Einzelkörbe in drei Lagen verdichtet. An besonders beanspruchten Stellen wurden nach dem Rückbau Drahtproben entnommen und untersucht. Dabei widerstand der neu entwickelte Überzug sehr duktil ohne nachteilige Einbaubeschädigungen der Verdichtung der einzelnen Einbaulagen. Basierend auf weiteren Untersuchungen und Forschungsergebnissen wurde von der BAM ein Dauerhaftigkeitskonzept erarbeitet, mit dem mindestens 50 Jahre Haltbarkeit des Drahtüberzugs sichergestellt werden kann [10, 11]. Da bekannt ist, dass nach Aufbrauchen des Überzugs die weitere Korrosion des Grundwerkstoffs sehr langsam



Bild 5: Ausgewählte Hartgesteine für die Versuchswand
Foto: Nimmiesgern



Bild 6: Erstellung der Versuchswand
Foto: Nimmiesgern

fortschreitet, kann von einer Dauerhaftigkeit von mindestens 100 Jahren ausgegangen werden. Voraussetzung für diese Abschätzung ist, dass sämtliche Drahtgitter in einem Milieu eingebaut sind, in dem keine permanente Bodenfeuchtigkeit vorliegt. Daher ist die Konstruktionsrückseite generell mit einer funktionierenden Drainage zu versehen.

Gemäß Merkblatt [2] ist unter anderem ein Nachweis gegen Versagen eines Einzelelements (innere Standsicherheit) zu führen (**Bild 7**). Da die derzeitigen Kenntnisse für einen rechnerischen Nachweis nicht ausreichen, kann dieser nur mit großmaßstäblichen

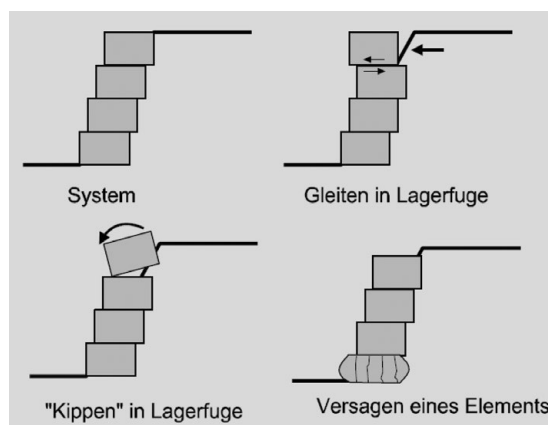


Bild 7: Nachweise für Gabionenkonstruktionen [2]

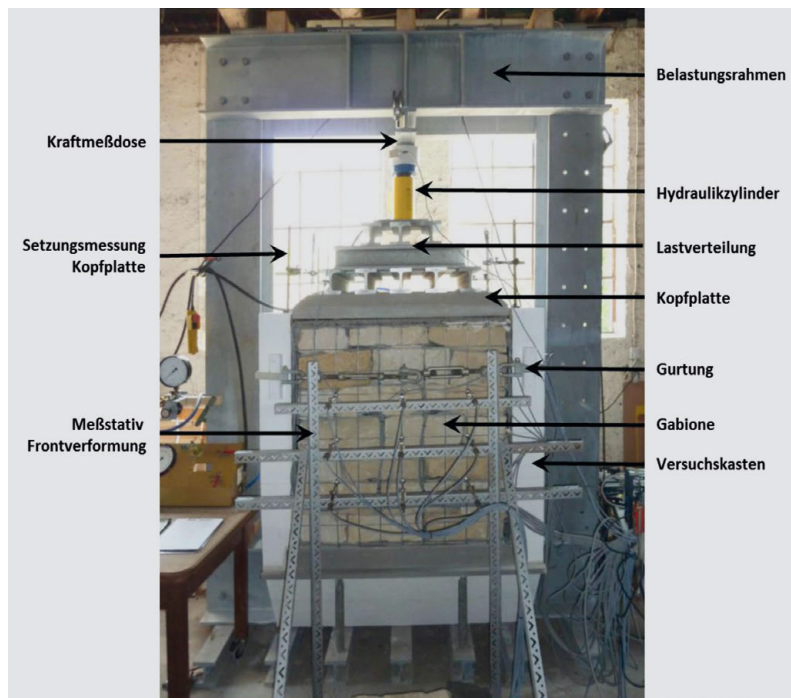


Bild 8: Versuchsstand für großmaßstäbliche Versuche [14]

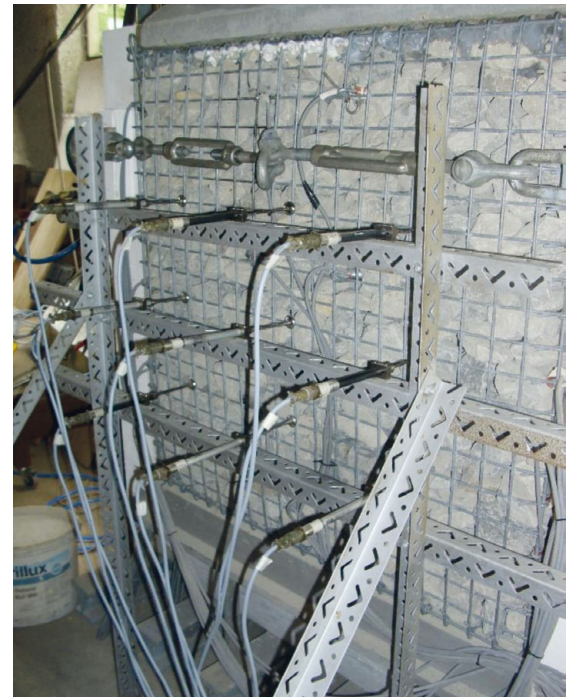


Bild 9: Vorderansicht Versuchsrahmen mit Wegaufnehmern

Foto: Nimmegern

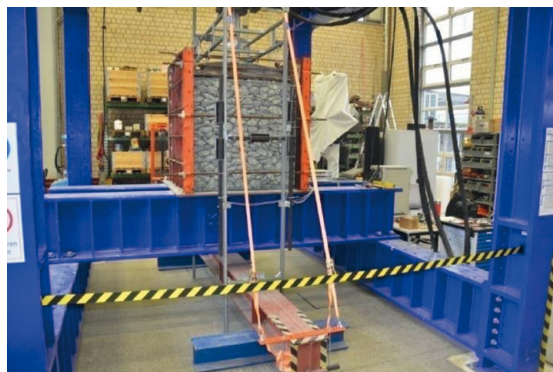


Bild 10: Vorderansicht Versuchsrahmen FH Münster

Foto: Thünemann

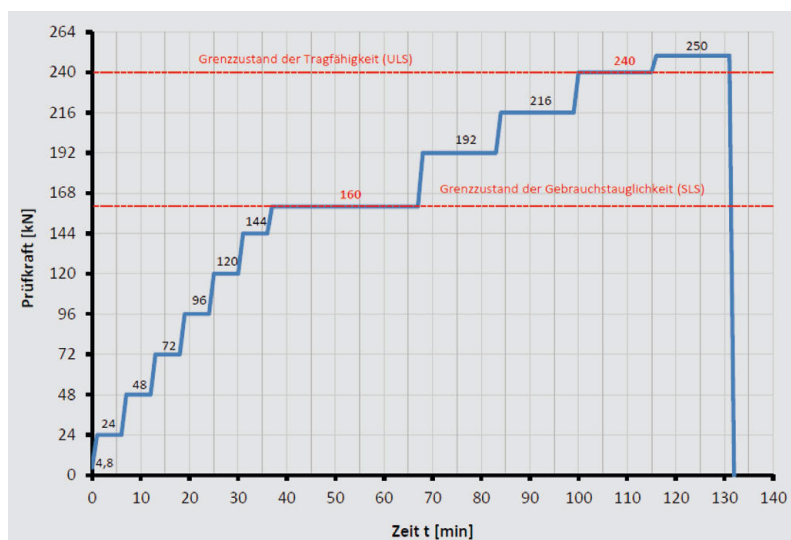


Bild 11: Prüfzyklus mit den Grenzzuständen SLS und ULS (EC 7) [15]

Belastungsversuchen geführt werden. Hierzu wurden zunächst drei Grundsatzversuche unter fachtechnischer Begleitung durch die TU München durchgeführt [12 bis 14]. In einen Versuchsrahmen wurde ein kubischer Einzelkorb mit 1 m Kantenlänge eingebaut und kontrolliert befüllt (**Bilder 8 und 9**). Die Gabione wurde in einen starren nur nach vorne offenen Betonkasten eingebaut, sodass analog einer realen Konstruktion nur eine ebene Verformung zur Luftseite hin möglich ist. Ein in der Realität durch die Hinterfüllung auf die Gabionenrückseite wirkender Erddruck wurde durch den Einbau eines quadratischen Luftkissens mit 1 m Seitenlänge hinter der Versuchsgabione simuliert. Im Gabionenbauwerk wird die unterste Gabionenlage durch die darüber gestapelten Körbe immer mit der größten Druckspannung beansprucht. Diese Situation sollte mit den Versuchen abgebildet werden. Deshalb wurde zunächst ausgehend von einer Wichte eines gefüllten Korbs von 19 kN/m^3 bei den Versuchen die Druckbelastung schrittweise um jeweils 19 kN bis zu einer Last von 171 kN erhöht. Diese maximale Belastung entspricht einer Konstruktionshöhe von insgesamt 10 m . Während der Versuchsdurchführung wurden die äußeren Verformungen mit zahlreichen Wegaufnehmern und im Inneren die Drahtkräfte mit Dehnungsmesstreifen dokumentiert. Die Versuche ergaben, dass bei kontrolliert hohlraumarmen Befüllung durch Verdichtung der einzelnen Lagen bei Höchstlast vertikale Setzungen von 7 bis 8 mm und horizontale Verformungen von 13 bis 14 mm nicht überschritten wurden.

Um diese positiven Ergebnisse statistisch abzusichern, wurden weitere Großversuche an der Fachhochschule in Münster (**Bild 10**) durchgeführt [15]. Es wur-

de ein Prüfzyklus auf der Basis des Nachweiskonzepts des Eurocode 7 (Geotechnik) vereinbart [7], und zwar für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (SLS) eine Druckspannung von mindestens 160 kN und für den Nachweis der Tragfähigkeit (Ultimate Limit State ULS) eine Druckspannung von mindestens 240 kN (**Bild 11**). Als Abbruchkriterium sollte für die Gebrauchstauglichkeit (Service Limit State SLS) eine horizontale Verformung von 2 % bezogen auf die Nominalhöhe der Versuchsgabione von 1 m und für die Tragfähigkeit der Bruch eines Gabionenelements Anwendung finden. Es wurden jeweils vier Versuche mit zentrischer Belastung und mit ausmittiger Belastung (Resultierende 1. Kernweite) durchgeführt (**Bild 12** links und rechts). Sämtliche Versuche konnten wie geplant bis zur Maximallast des verwendeten Hydraulikzylinders von 250 kN durchgeführt werden. Diese Druckkraft entspricht bei einer Gabionenwichte von 16 kN/m³ einer Auflast von 15,6 m Höhe, also damit einer gesamten Wandhöhe von 16,6 m. Insgesamt ergaben sich bei diesen hohen Beanspruchungen nur unerwartet geringe Verformungen (**Tabelle 1**). Die Maximalwerte der Setzung der Kopfplatte und der horizontalen Verschiebung der Gabionenvorderseite sind in **Tabelle 1** für die Laststufen 7 m Höhe, 11 m Höhe (Nachweis der Gebrauchstauglichkeit SLS) und die Maximallaststufe 16,6 m Höhe (Nachweis der Tragfähigkeit ULS) zusammengestellt. Sämtliche Ergebnisse zeigen, dass die Drahtstruktur optimal auf die Gesteinsbefüllung und deren Einbauprozedere abgestimmt werden konnte.

Fazit

Sämtliche Untersuchungen wurden vom Deutschen Institut für Bautechnik geprüft und als Verwendbarkeitsnachweis nach § 17 der Musterbauordnung [16] anerkannt und im Dezember 2017 eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung und Bauartgenehmigung erteilt [17, 18]. Damit können Schwergewichtsmauern mit Ösengabionen „Quicky Forte 2000“ bis 6 m Höhe als „geregelter Bauweise“ angesehen werden. In der Zulassung werden die Eigenschaften und Zusammensetzung der Gabionenkörbe, das Gestein zur Verfüllung, die Herstellung einschließlich der Dränage und der Hinterfüllung, der Transport, die Lagerung und Kennzeichnung sowie die Bestandteile der Übereinstimmungsbefestigung und die Planung, Bemessung, Ausführung der Konstruktion und deren Kontrolle beschrieben. Ein Regelquerschnitt ist im **Bild 13** dargestellt. Wichtiges Konstruktionsdetail ist die Anordnung einer Dränage direkt an der Konstruktionsrückseite. Durch Verhinderung von Dauerfeuchte können eine annähernd atmosphärische Situation und die Dauerhaftigkeit des Korrosionsschutzüberzugs gewährleistet werden. Die Abmessungen der einzelnen Körbe und die Nachweise der Gründung erfolgen für jede lokale Baumaßnahme mit einer statischen Berechnung [7]. Die Basis dieser Berechnung liefern ein Baugrundgutachten und die

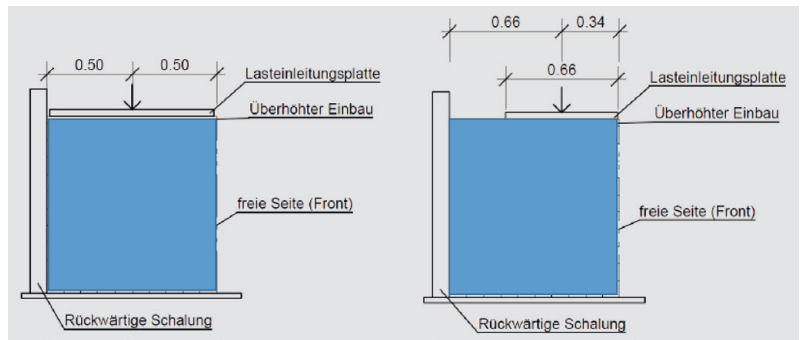


Bild 12: Laststellung zentrisch (links) und Erste Kernweite (rechts) [15]

Tabelle 1: Ermittelte maximale Verformungen V in vertikaler Richtung und H in horizontaler Richtung bei zentrischer und ausmittiger Laststellung für unterschiedliche Last- bzw. Wandhöhen [15]

Ver- such	Last- stellung	Füllung	Maximale Verformungen V / H [mm]		
			Last 96 kN / 7 m Höhe	Last 160 kN / 11 m Höhe	Last 250 kN / 16,6 m Höhe
G1	zentrisch	Schüttverfahren	8,5 / 2,5	15,0 / 6,0	23,0 / 12,0
G2			5,0 / 3,0	9,5 / 5,5	17,0 / 9,5
G3		Handversatz	7,0 / 3,0	11,5 / 7,0	18,0 / 13,0
G4			7,8 / 2,8	12,8 / 5,0	18,5 / 8,0
G5	ausmittig	Schüttverfahren	10,7 / 8,0	19,5 / 15,0	32,0 / 22,0
G6		Handversatz	11,6 / 7,0	18,0 / 16,2	25,8 / 24,0
G7		Schüttverfahren	11,0 / 8,1	18,7 / 15,6	29,1 / 22,2
G8		Handversatz	9,0 / 9,2	15,1 / 15,2	23,5 / 21,4

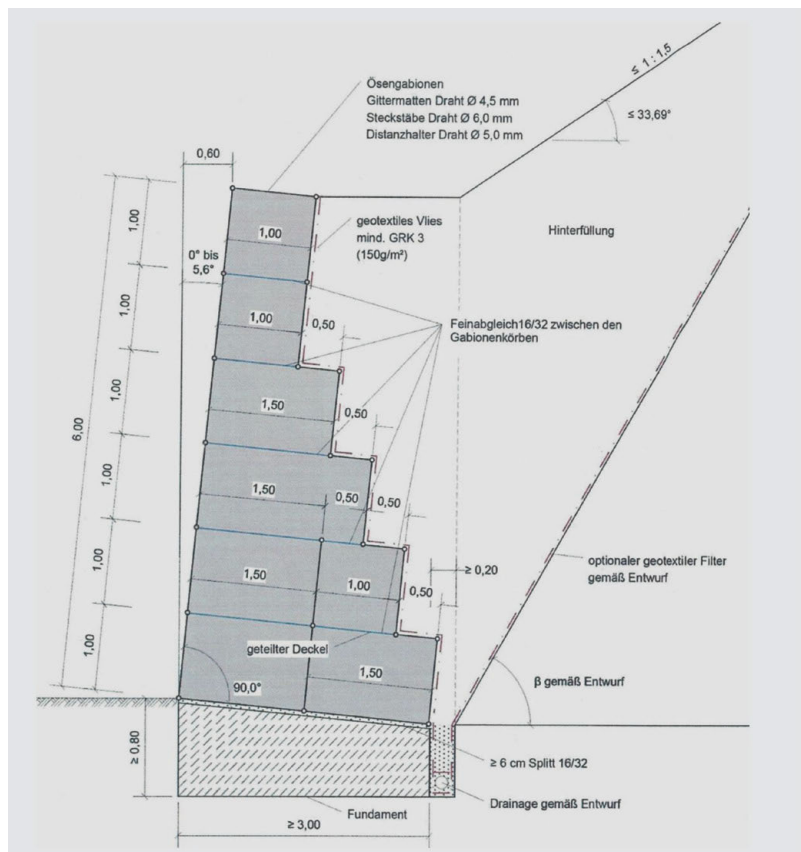


Bild 13: Regelquerschnitt [17]

Bestimmung der Referenzzwichte mit dem für die Befüllung vorgesehenen Gestein und der Verdichtungsarbeit (**Bild 14**). Analog der üblichen Vorgehensweise bei anderen Baustoffen wird durch eine Überwachungs- und Zertifizierungsstelle für Gabionenkörbe sichergestellt, dass die bei der lokalen Baustelle zum Einsatz kommenden Konstruktionsbestandteile den in der Zulassung beschriebenen Eigenschaften entsprechen. Die Zertifizierungsstelle überwacht die regelmäßige Eigenüberwachung des Herstellers und führt die Fremdüberwachung



Bild 14: Mustergabione zur Bestimmung der Referenzzwichte



Bild 15: Ausgeführte Konstruktion

durch. Die Umsetzung der Zulassung [17] auf der Baustelle wird durch Kontrollmaßnahmen der Bauüberwachung sichergestellt (Kapitel 3.2.5 der Zulassung), sodass der Bauherr neben einem mängelfreien Bauwerk mit der Übereinstimmungsbestätigung eine Dokumentation der Bauqualität erhält.

Das in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) umfassend beschriebene Bausystem beinhaltet ein Baukastensystem, mit welchem ein Geländesprung bis 6 m Höhe mit monolithisch verbundenen Ösengabionen dauerhaft gesichert werden kann (**Bild 15**). Damit kann die bisher noch nicht umfassend geregelte Bauweise mit Gabionen für das Gabionensystem der Hoy Geokunststoffe GmbH mit seinen spezifischen in der Zulassung dokumentierten Randbedingungen als geregelte Bauweise angesehen werden.

Literatur

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV: Merkblatt über Stützkonstruktionen aus Blockelementen, Blockschichtungen und Gabionen. Köln, 2003
- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV: Merkblatt über Stütz- und Lärmschutzkonstruktionen aus Betonelementen, Blockschichtungen und Gabionen M Gab. Köln, 2014
- [3] Technische Lieferbedingungen für Gabionen im Straßenbau – Teil 1: Befüllmaterialien TL Gab-StB By11 – Teil 1, Ausgabe 2011
- [4] Technische Lieferbedingungen für Gabionen im Straßenbau – Teil 1: Befüllmaterialien TL Gab-StB By11 – Teil 1, Ausgabe 2012
- [5] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV: Technische Lieferbedingungen für Gabionen im Straßenbau TL Gab-StB 16. Köln, 2016, ARS 12/2017
- [6] NV Bekaert SA: Datenblatt Bezinal® 2000. 2008. Online: <https://www.hoy-geokunststoffe.de/>
- [7] DIN EN 1997-1 (03/2014): Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC: 2009 + A1: 2013
- [8] DIN EN 1997-1/NA (12/2010): Eurocode 7: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, Teil 1: Allgemeine Regeln
- [9] DIN 1054 (12/2010): Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Änderung A1: (08/12), Änderung A2: (11/15)
- [10] Bewertung des Korrosionsschutzes einer Versuchsgabionenwand, Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Berlin, Az. IV.1/14700, 20 Seiten, 1 Anlage, 26.04.2011, unveröffentlicht
- [11] Lebensdauervorhersagen für Gabionenwände auf der Grundlage von Laboruntersuchungen und Referenzobjekten, Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Berlin, Az. VH 6613, 14 Seiten, 1 Anlage, 28.01.2011, unveröffentlicht



Geokunststoffe GmbH

Gabionensystem für Schwergewichtsmauern

mit erster DIBt-Zulassung

- [12] Antrag Fa. Hoy auf allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Ösengabionenwand bis 6,0 m Höhe beim DIBt, Rechnerische Nachweise, Zentrum Geotechnik, TU München, 11691/9, 12 Seiten, 30.10.2013, unveröffentlicht
- [13] Antrag Fa. Hoy auf allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Ösengabionenwand bis 6,0 m Höhe beim DIBt, Geotechnische Stellungnahme, Prof. Dr.-Ing. N. Vogt, Zentrum Geotechnik, TU München, 11691/10, 12 Seiten, 30.10.2013, unveröffentlicht
- [14] Großmaßstäbliche Belastungsversuche an Gabionen, M. Nimmesgern, H. Hansel, Ochsenfurt, 28 Seiten, Anlagenband mit 3 Anlagen, 09.01.2013, unveröffentlicht
- [15] FH Münster, Bautechnisches Zentrallabor: Prüfbericht zum Zulassungsantrag für Schwergewichtsmauern aus Ösengabionen Typ „Quicky Forte“ bis zu einer Höhe von sechs Metern. Bericht BZL-G-01-2016, 100 Seiten, 02.05.2016, unveröffentlicht
- [16] Musterbauordnung MBO, Fassung vom 1.11.2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 13.5.2016
- [17] Deutsches Institut für Bautechnik: Ösengabionen „Quicky Forte 2000“ für Schwergewichtsmauern bis 6 m Höhe. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-20.12-201 und Bauartgenehmigung, Berlin, 2017
- [18] Hoy Geokunststoffe GmbH: Produktinformationen „Quicky Forte 2000“. 2019. Online: <https://www.hoy-geokunststoffe.de/>

Prof. Dr.-Ing. Matthias Nimmesgern

ist Gesellschafter der HOY Geokunststoffe GmbH, Kesselsdorf, Deutschland, und als Professor i. R. noch Lehrbeauftragter an der FH Würzburg-Schweinfurt, Deutschland, tätig.

Kontakt:

matthias.nimmesgern@fhws.de

Wolfgang Schmauser

ist Geschäftsführer der HOY Geokunststoffe GmbH, Kesselsdorf, Deutschland.

Kontakt:

wolfgang.schmauser@hoy-geokunststoffe.de



Gabionen ■ Bewehrte Erde ■ Vliesstoffe
Geogitter ■ Erosionsschutz
ADFORS GlasGrid® Asphaltbewehrung

www.hoy-geokunststoffe.de

Zum Wiesengrund 1-5
01723 Kesselsdorf

info@hoy-geokunststoffe.de
+49 35204 701 - 10

Hangsicherung mit Erdbeton – standfest, effizient und umweltgerecht

Florian und Matthias Schönberger, Schönberger Bau GmbH & Co. KG, Zenting, Deutschland

Schlanke, aber massive Stützscheiben aus Erdbeton – erstellt aus vorhandenem Boden und einer Zementsuspension – können wirksame Elemente zur Hangsicherung bilden, wie ein Praxisbeispiel des Unternehmens Schönberger Bau im hessischen Wettenberg zeigt.

Geotechnik • Hangsicherung • Sanierung • Erdbeton • Effizienz • Umwelt



Bild 1: Sanierung nach Hangrutschung mit Hydrozementationsverfahren
Quelle der Bilder: Schönberger Bau GmbH

Schaden durch Unwetter mit Starkregen

Ende Mai 2018 sorgte in der hessischen Gemeinde Wettenberg ein Unwetter mit Starkregen für eine Hangrutschung an zwei Abschnitten der Wetzlarer Straße. In einem geotechnischen Prüfbericht empfahl später die Ingenieurgesellschaft Lenz & Gast mbH (ILG), Gießen, Deutschland, die talseitigen Böschungen in zwei Teilbereichen von rund 130 bzw. 70 m Länge und mit 8 bis 10 bzw. 5 bis 6 m Böschungshöhe zu sanieren. Ansonsten ließe sich nicht ausschließen, dass starke Niederschläge erneut gefährliches Schicht-, Hang- oder Sickerwasser erzeugen würden. Gegen einen dadurch ausgelösten Gelände- bzw. Böschungsbruch waren laut Berechnungen der ILG die untersuchten Hangquerprofile nicht standsicher genug. Zur langfristigen Stabilisierung der Böschungen wurde die Herstellung eines mit Ankern und Krallplatten fixierten Drahtgeflechts plus Erosionsschutzmatte empfohlen.

Eine solche Vorgehensweise schrieb die Gemeinde Wettenberg auch aus, ließ jedoch neben entsprechenden Hauptangeboten auch Nebenangebote mit alternativen Verfahren zu. Den Zuschlag erhielt schließlich die Schönberger Bau GmbH & Co. KG aus Zenting, Bayern, mit einem Nebenangebot, nämlich der Herstel-

lung von Erdbetonstützscheiben (**Bild 1**) im bereits vor mehreren Jahrzehnten von Schönberger entwickelten Hydrozementationsverfahren (HZV).

Verfahren fast ohne Massentransport

Ausgeführt wurden die Arbeiten im Zeitraum von Februar bis Mai 2019. Konkret sah das Sanierungskonzept die Erstellung von jeweils 2 m dicken Erdbetonscheiben mit jeweils 6 m Achsabstand vor, die ein Randbalken entlang des Straßenrands verbindet und abschließt. Zwischen den Stützscheiben eingebaute Rigolen nehmen Sickerwasser auf und führen es unter den Hangfuß ab. Der Einsatz des HZV in Nahaufnahme:

- ▶ Ein Hydraulikbagger gräbt vom Hangfuß aus alle sechs Meter einen 2 m breiten, stufenartigen Einschnitt in die Hangfläche (**Bild 2**).
- ▶ Das ausgebagerte Material wird am Hangfuß per Baggerlöffel mit einer Zementsuspension vermengt, die in einer mobilen Mischanlage entsteht und durch einen Druckschlauch zur Baustelle gepumpt wird (**Bilder 3 und 4**).
- ▶ Der vor Ort in situ hergestellte Erdbeton wird sofort wieder in den Hangkörper eingebaut (**Bilder 5 und 6**) und erreicht innerhalb von 28 Tagen seine Endhärte. Sie wird an regelmäßig erstellten Probekörpern nachgewiesen (**Bild 7**).

Ein Bestandteil des Hangsanierungskonzepts von Schönberger Bau in Wettenberg war auch der Einbau von Rigolen zwischen den Erdbetonscheiben (**Bild 8**).



Bild 2: Erstellung eines Einschnitts in den Hangkörper



Bild 3: Herstellung des Erdbetons durch Vermengung des entnommenen Bodens mit Zement-suspension aus mobiler Mischanlage



Bild 4: Mobile Mischanlage mit geringem Aufbauaufwand



Bild 5: Füllung des Erdbetons in die ausgebaggerten Einschnitte



Bild 6: Hangabschnitt nach Einbau der Erdbetonscheiben



Bild 7: Probekörper für Druckfestigkeitsprüfung

In ihnen kann Regenwasser gefahrlos zum Hangfuß abfließen. Nach einer Oberflächenvermörtelung der betroffenen Hangpartien und der Straßenbankette war das Sanierungsverfahren abgeschlossen.

Ökonomische und ökologische Vorteile

Mit Beratung durch die ILG zur technischen Machbarkeit entschied sich das Bauamt der Gemeinde Wertenberg insbesondere aus wirtschaftlichen Aspekten für das Hydrozementationsverfahren (HZV). Es war kostengünstiger als die ausgeschriebene Bauweise mit Drahtgeflecht, Erosionsschutzmatte und Verankerung. Als technische Vorteile und Umweltaspekte ihres Konzepts der Hangsicherung benennt die Schönberger Bau GmbH & Co. KG im Einzelnen:

- ▶ Kostenreduzierung durch geringen Material- und Technikeinsatz sowie geringen Personal- und Zeitaufwand
- ▶ Tiefgründige Verfestigung des Hangkörpers, da die im Erdbeton enthaltene Zementsuspension die Stützscheiben nicht nur punktuell, sondern flächenhaft und kraftschlüssig mit dem Untergrund verbindet
- ▶ Statischer Nachweis für ganze Konstruktion
- ▶ In-situ-Verfahren fast ohne Massentransporte
- ▶ Korrosions- und wasserfester, umweltneutraler Erdbeton
- ▶ Einfache Begrünung der fertigen Hangflächen

Fazit

Die Auftraggeber waren mit der gewählten Lösung zufrieden. Bei ähnlichen Randbedingungen und Bodenverhältnissen – etwa Lehm oder Lockergestein – kann das Hydrozementationsverfahren (HZV) nach Einschätzung der Geologen von ILG auch anderswo eine ökonomische und ökologische Lösung sein, welche die gestellten statischen Anforderungen erfüllt.



Bild 8: Rigolen für den Abfluss des Hangwassers

Florian und Matthias Schönberger

sind Geschäftsführer der Schönberger Bau GmbH & Co. KG, Zenting, Deutschland.

Kontakt: info@schoenberger-bau.de

12. Österreichische Geotechniktagung

Theorie und Praxis des Spezialtiefbaus

Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Blaasch, Freier Baufachjournalist, München



Quelle: © VÖBU/Rastegar

Die 12. Österreichische Geotechniktagung in Wien stand in diesem Jahr unter dem Motto „Theorie & Praxis des Spezialtiefbaus“. Mit der Fachausstellung VÖBU Fair bot sie den Geotechnik- und Spezialtiefbauexperten im deutschsprachigen Raum die Möglichkeit zum Austausch über die neuesten technischen und wirtschaftlichen Entwicklungen.

Veranstaltung • Geotechnik • Spezialtiefbau • Österreich

1.300 Teilnehmer und 72 Aussteller nahmen an der VÖBU Fair und der 12. Österreichischen Geotechniktagung im Januar 2019 in Wien teil (Bild 1). Die Organisation der Veranstaltung obliegt der Vereinigung Österreichischer Bohr-, Brunnenbau- und Spezialtiefbauunternehmungen (VÖBU), während das Österr. Nationalkomitee (ASMGE) der International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE) und das Institut für Geotechnik, Grundbau, Boden- und Felsmechanik der TU Wien für die inhaltliche Gestaltung der Tagung zuständig sind. In 20 Vorträgen aus den Themenbereichen Brückengründungen, Infrastrukturmaßnahmen, innerstädtischem Bauen und Tunnelbau sowie Innovationen im Spezialtiefbau wurden neueste wissenschaftliche Entwicklungen einerseits und Praxisbeispiele andererseits präsentiert. Zudem wurde der Österreichische Grundbaupreis verliehen. Höhepunkt jeder Österreichischen Geotechniktagung ist die Vienna-Terzaghi Lecture, in der international renommierte Geotechniker traditionell nicht nur fachliche Aspekte beleuchten, sondern auch philosophische Gedanken einfließen lassen.

Vienna-Terzaghi Lecture zu „Geomechatronik – ein Zukunftsfeld“

Für den diesjährigen Vortrag „Geomechatronik – ein Zukunftsfeld“ hatte man den Geotechniker Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Grabe von der TU Hamburg, Vorstandsmitglied und stellvertretenden Vorstand der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT), gewonnen. Prof. Grabe (Bild 2) beschrieb die immer digitaler und smarter werdende Welt. Bisher von Menschen ausgeführte Aufgaben werden zunehmend automatisiert. Er nannte als Beispiele selbstfahrende Verkehrs- und Transportfahrzeuge, voll automatisierte Roboter oder im häuslichen Bereich selbstfahrende Staubsauger und Rasenmäher. Maschinen und Geräte kommunizieren miteinander, wobei das Werkstück eine selbstorganisierte Fabrik durchläuft. Die Erkenntnis

veranlasste ihn zu der Frage, warum das nicht auch im Bauwesen anwendbar sein sollte?

In vielen Bereichen sei Geotechnik eigentlich angewandter Maschinenbau, stellte Prof. Grabe fest. Wichtige Entwicklungen im Grund- und Spezialtiefbau sind erst durch die Konstruktion leistungsfähiger Maschinen möglich geworden. Prozesse werden heute schon mit robuster Messtechnik für den Baustelleneinsatz online erfasst und dokumentiert. Er hält es für absehbar, dass die Daten digital den am Bau Beteiligten zur Verfügung gestellt werden.

Weil Tiefbauarbeiten in der Regel nicht einsehbar sind, müssen Sensoren, Regelungen und Steuerungen eingesetzt werden, um eine höhere Qualität, größere Produktivität, verbesserte Arbeitssicherheit und Kostenminimierungen zu erzielen. Die Geräteführer, die Arbeitsprozesse ohne diese Hilfsmittel beherrschen, werden immer seltener und sind heiß begehrt, weil viel Gefühl und Erfahrung nötig ist, um beispielsweise eine Schlitzwandlamelle perfekt herzustellen. Prof. Grabe fasst das Zusammenspiel von Geotechnik, Maschinenbau, Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik unter dem Begriff Geomechatronik zusammen. Erforderlich ist ein verbessertes disziplinübergreifendes Verständnis der Mensch-Maschine-Boden-Interaktion. Er führte aus, dass es durch die Fortschritte in der Numerik möglich geworden sei, komplexe Herstellungsvorgänge in der Geotechnik zu modellieren und damit einzelne Einflüsse, wie die gewählten Maschinenparameter und Werkzeuge, separat zu untersuchen und im Hinblick auf die Zielsetzung zu optimieren.

An ausgewählten Beispielen zeigte Prof. Grabe, dass in der Geomechatronik enormes Innovationspotenzial



Bild 2: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Grabe während der Vienna-Terzaghi Lecture

Quelle: © VÖBU/Rastegar

steckt. Durch ein verbessertes Verständnis der Herstellungsprozesse ist eine Ableitung der, den Prozess charakterisierenden Steuerungsgrößen möglich. Damit wird es möglich, den einzelnen Prozess zu optimieren und letztendlich zu automatisieren. Beim Einbringen von Profilen kann der Geräteführer die statische Unwucht, die Frequenz und die statische Anpresskraft verändern. Das Profil soll mittels Vibration in möglichst kurzer Zeit auf Endtiefe gebracht werden, wobei Grenzwerte der Bodenschwingungen im Umfeld des Pfahls einzuhalten sind. Auf Grundlage numerischer Untersuchungen erscheint es möglich, durch Entwicklung einer Regelung Profile effizienter in den Boden einzubringen und unzulässige Erschütterungen in der Umgebung zu vermeiden.

Mit welcher Geschwindigkeit soll ein mit Boden gefülltes Bohrwerkzeug in der Verrohrung gezogen werden? Dabei kann ein zu schnelles Ziehen einen Porenwasserunterdruck und folglich einen hydraulischen Grundbruch an der Bohrlochsohle verursachen. Prof. Grabe wählte das Bild eines Fahrstuhls für das Bohrwerkzeug, das allmählich auf die Ziehgeschwindigkeit beschleunigt wird, sodass die Entspannung und Auflockerung des Bodens gering sind. Der Lösungsansatz ist, die Kompressions- und Scherwellengeschwindigkeit im Boden zu messen.

Ein weiteres Beispiel zeigte auf, wie die Vernetzung einzelner Prozesse mittels zellulärer Automaten und Graphentheorie gelingen kann. Mittels flächendeckender dynamischer Verdichtungskontrolle werden erkannte Schwachstellen gezielt verdichtet oder, falls ungeeigneter Boden vorliegt, ausgetauscht. Baumaschinen, wie selbstfahrende Vibrationswalzen, Grader und Radlader, koordinieren damit ihre Arbeiten zeitlich und räumlich selbst. Mithilfe solcher Parameterstudien ließe sich beispielsweise der Gerätepark einer Baustelle optimieren.

Prof. Grabe schilderte, an welchen zukünftigen Verfahren bereits gearbeitet wird. Am Ende stehen eine vollautomatische Tiefbaustelle mit dem 3D-Druck von Bauteilen, wie z. B. einem Bohrpfahl in situ, und eine vollständig veränderte Logistik. Wenn es dann noch gelingt, adaptive Gründungen zu entwickeln, die sich automatisch an geänderte Beanspruchungen anpassen können, wie beispielsweise Baumwurzeln und Knochen, sind wir in der Zukunft angekommen. Es wurde deutlich, dass die Geomechatronik ein großes Forschungs- und Entwicklungsfeld für die Zukunft bietet.

Brückengründungen

Drei Vorträge befassten sich mit Brückengründungen. Prof. Roberto Cudmani (TU München) referierte über das Konzept der Gründung für eine Schrägseilbrücke im Rosenheimer Seeton. Prof. Hauke Zachert (TU Darmstadt) stellte die großformatigen Dübelschächte zur Gewährleistung normativer Standsicherheit am Hochmoselübergang vor. Über die Planung und Umsetzung der Gründungsmaßnahmen bei der Voest-Brücke Linz sprachen Techniker der Triax-Ziviltechniker GmbH und der Bauer Spezialtiefbau GmbH.

Infrastrukturbaumaßnahmen

Zu Spezialtiefbauarbeiten am Wasser und am Land im Zuge der D4R7 Bratislava sprach Johannes Burger (Porr Bau), und die Erkenntnisse zur Sicherung von Baugrubenwänden und Geländesprüngen mittels scheibenartiger Stützelemente schilderte Prof. Roman Marte (TU Graz).

Ersatzneubau Kraftwerk Danzermühl

An der Traun in Österreich liegt die von der Kraftwerk Laakirchen GmbH betriebene Wasserkraftanlage „Danzermühl“ mit einer Ausbauwassermenge von $60 \text{ m}^3/\text{s}$ und einer Gesamtengpassleistung von 3,3 MW. Die Stromjahreserzeugung liegt bei etwa 16,5 GWh. Altersbedingt wurden verschiedene Varianten der Generalsanierung sowie eine Leistungsoptimierung untersucht. Ein Ersatzneubau ist unter wirtschaftlichen und ökologischen Kriterien die beste Lösung (Bild 3).

Durch den Ersatzneubau werden die Ausbauwassermenge auf $120 \text{ m}^3/\text{s}$ und damit die Engpassleistung auf 9,2 MW erhöht (Jahresleistung 44,8 GWh), was einem Jahresstrombedarf von rund 10.000 Haushalten entspricht. Das alte Krafthaus und die alte Wehranlage wurden abgetragen. Von der Baumaßnahme berichteten Dipl. Ing. David Görgl und Dipl.-Ing. Dr. techn. Klaus Meinhard (Porr Bau GmbH, Abteilung Spezialtiefbau). Das neue mit zwei horizontalen Kaplan-Turbinen bestückte Krafthaus integriert eine 10-kV-Schaltanlage. Mit einer 820 m langen Unterwassereintiefung würde die Fallhöhe von ca. 7 auf 9,2 m aufgebaut. Vorgesehen sind eine Fischaufstiegshilfe in Schlitz-Pass-Bauweise und eine Fischabstiegsanlage am Wehrbauwerk.

Wehr und Krafthaus wurden in zwei Bauphasen im Schutz überschnittener Bohrpfähle (DM 1180) und einer verankerten Spundwand ausgeführt. Vor Baubeginn hatten Baugrunderkundungen Kies mit einzelnen Konglomeratschichten ergeben. Klar war, dass die Pfähle im Grundwasser hergestellt werden mussten. Nicht vorbereitet war man auf sehr mächtige Konglomeratschichten in Wechsellagerungen mit sehr feinteilarmen rolligen Kiesen. Diese Kombination verursachte nach wenigen Bohrmetern einen massiven Anstieg der Mantelreibung bzw. ein Verklemmen der Verrohrung. Die Ergebnisse zahlreicher Versuche führten aus wirtschaftlicher und bauzeitlicher Sicht zu einer Vorstabilisierung des Untergrunds mit dem Düsenstrahlverfahren (DSV).

Durch massiven Wasserzutritt in die Baugrube ($> 1.000 \text{ l/s}$) beim Aushub der Wehrfelder wurde die Abdichtung der Krafthausbaugrube bis auf eine Tiefe von ca. 38 m mit DS-Vollsäulen festgelegt. Um die Abweichung zu beherrschen, wurden alle DS-Säulen verrohrt vorgebohrt und vermessen. Dabei kam es beim Abbohren in der vorgebohrten Bohrachse immer wieder zu Schwierigkeiten durch hängengebliebenes Bohrgestänge, Ausbleiben des Rücklaufmaterials sowie massiven Verschleiß des Bohrwerkzeugs. Die Herstellung stabiler DS-Säulen gelang schließlich durch Variation



Bild 3: Bauphase 2: DSV-Arbeiten am Einlaufbauwerk
Foto: ARGE KW Danzermühl

des Herstellprozesses und Bindemitteloptimierung.

Bei dem Projekt zeigte sich wieder einmal, dass die praktische Ausführung oft von den Überlegungen vor Beginn der Arbeiten abweicht. Flexibilität der bauausführenden Firma ist daher bei Spezialtiefbauarbeiten oft gefragt, wie in diesem Projekt mit:

- ▶ Zwei statt einer Drehbohranlage
- ▶ Einem Seilbagger und einer DSV-Anlage zusätzlich
- ▶ Verankerter Spundwand statt Bohrpfehlwand
- ▶ Verlängerung der fertigen Baugrubenumschließung für die Krafthausbaugrube bis in den Stauer

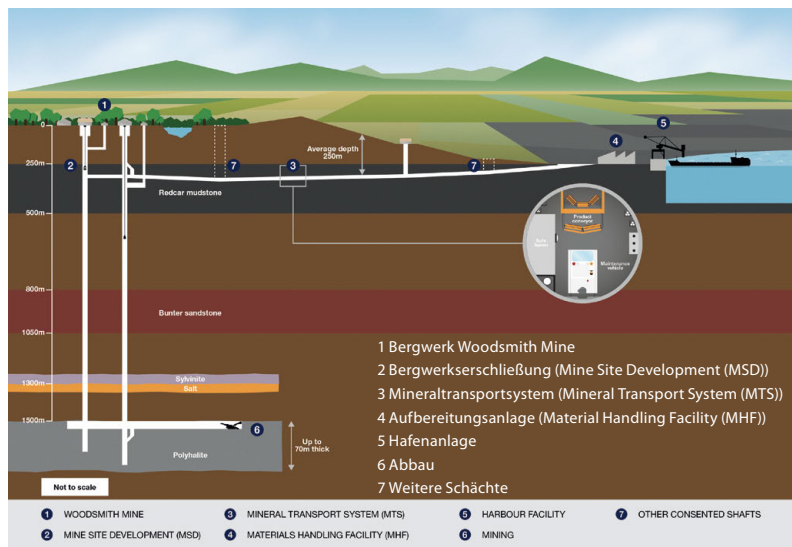


Bild 4: Querschnitt des Bergwerks Woodsmith Mine (nicht maßstäblich)
Foto: Sirium Minerals PLC

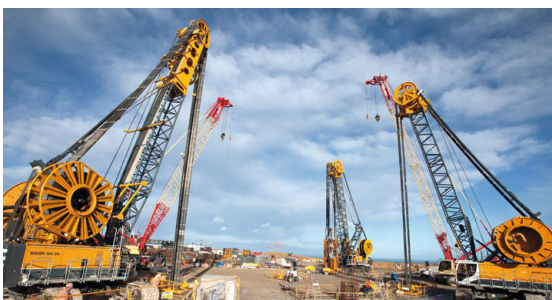


Bild 5: Schlitzwandherstellung – Maschinen im Einsatz
Quelle: Sirium Minerals PLC

Tiefe Schlitzwandschächte für Bergwerk Woodsmith Mine in England

Dipl.-Ing. Gustav Jahnert (Bauer Spezialtiefbau GmbH) referierte über die Herstellung tiefer Schlitzwände für das Bergwerk Woodsmith Mine der Sirium Minerals PLC im Nordosten Englands. Mitten im Naturschutzgebiet wird mit über 1.500 m das tiefste Bergwerk Großbritanniens errichtet, um das Düngemittel Polyhalit zu fördern und global zu vermarkten (**Bild 4**). Alle Bergbau- und Transportaktivitäten bis zum 36 km entfernten Frachthafen werden unter Tage stattfinden, um den Nationalpark kaum zu beeinflussen.

Bauer Technologies Ltd. stabilisiert die oberflächennahen, verwitterten und grundwasserführenden Felsschichten durch 120 m tiefe Schlitzwandschächte mit einem Innendurchmesser von 7,50 m und einer Wandstärke von 1,20 m. Die Geologie besteht aus Sand- und Tonsteinschichten. Ab 120 m Tiefe besteht der Baugrund aus standfestem und trockenem Fels, was das weitere Abteufen bis zur Sohle im konventionellen, bergmännischen Schachtbauverfahren ermöglicht. Zwei weitere kreisrunde Schlitzwände (DM 35 m, 60 m tief) dienen zur Umschließung der Hauptschächte für die zum Bergwerksbetrieb notwendigen Förderanlagen. Die Schlitzwandlamellen werden mit drei unabhängigen, hydraulischen Fränsystemen BC 40 ausgehoben (**Bild 5**). Die mit 120 m langen Schlauchtrommelsystemen vom Typ HDS 120 ausgestatteten Fräsen sind auf MC 96 und MC 128 Trägergeräten montiert. Wegen der heterogenen Bodenverhältnisse stehen unterschiedliche Fräsräder und Zahntypen zur Verfügung.

Es werden vertikale Abweichungen von maximal 200 mm garantiert. Ein Überschreiten des Grenzwerts würde den lichten Schachttinnendurchmesser verkleinern, den Einbau der Arbeitsbühne zum bergmännischen Abteufen beeinträchtigen und könnte den Bau verzögern. Um die Abweichung von der Vertikalen in x- und y-Achse sowie Rotation während des Lamellenaushubs zu kontrollieren, sind unterschiedliche Messsysteme in den Geräten installiert, die die aktuelle Fräsenposition im Baugrund zeigen und Korrekturen ermöglichen. Der Überschneidung der Sekundärlamellen in den Beton der benachbarten Primärlamellen kann bis zu 40 cm betragen. In allen Lamellen ist Bewehrung vorgesehen, sodass vorgefertigte Bewehrungskörbe positionsgenau in die Primärlamellen eingebaut werden müssen, um einen Kontakt von Fräse und Armierung während des Aushubs der Sekundärlamellen zu vermeiden. Die Körbe in den Primärlamellen werden durch spezielle Abstandshalter aus Glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) sicher zentriert, die Bauer in Zusammenarbeit mit Schöck Bauteile GmbH entwickelt hat. Die GFK-Bewehrung eignet sich im Gegensatz zu Stahl ideal zum Überfräsen und erlaubte, Schlitzwandschächte 120 m tief mit geringen Toleranzen erfolgreich herzustellen.

Da im Fräsbetrieb das gesamte Bohrgut durch die Bentonitsuspension zur Separierungsanlage gefördert wird, steht die Entsandung besonders im Fokus.

3.500 m³ Bentonitsuspension zirkulieren zwischen Fräsen, Entsandungen und Vorratsbehältern. Dabei werden jede Stunde bis zu 1.000 m³ Suspension aufbereitet. Bei der Regenerierung der Bentonitstützflüssigkeit kommen komplexe Entsandungsanlagen und speziell entwickelte Polymerprodukte zur Anwendung.

Innerstädtisches Bauen und Tunnelbau

Zum Thema „Innerstädtisches Bauen und Tunnelbau“ referierten:

- ▶ Martin Schmidt (Stadt Wien) und Joachim Wagner (TU Wien): **Forschungsprojekt Unteres Hausfeld**
Im Unteren Hausfeld wurden umfangreiche Prüfungen an unterschiedlichen Gründungselementen durchgeführt. Durch die Lage im größten Stadterweiterungsgebiet der Stadt Wien birgt es das Potenzial, die Erkenntnisse auf zukünftige Projekte anzuwenden.

- ▶ Roman Markiewicz (Geotechnik Adam ZT): **Herausforderung für Geotechnik und Spezialtiefbau bei der tiefen Baugrube für das BG/BRG/BORG Lessinggasse mit Wohnsammelgarage in Wien**

Die Sicherung der 20 m tiefen Baugrube erfolgte in Deckelbauweise mit umlaufender Schlitzwand, im tieferen Bereich mit Zwischendeckeln in drei Ebenen und im oberen Bereich mit Teildeckeln ausgesteift bzw. mit Verankerungen gestützt. Zudem wurde eine Tiefgründung mit Schlitzwandelementen ausgeführt, um die Baukörper gegen Aufschwimmen zu sichern und die Bauwerkslasten verformungsarm abzutragen. Zusätzliche Spezialtiefbaumaßnahmen, wie Manschettenrohr- und Auffüllinjektionen, sowie die Grundwasserhaltung, waren unerlässlich. Die Bauarbeiten wurden umfangreich messtechnisch überwacht.

- ▶ Joachim Meier (Implenia Spezialtiefbau): **Gesteuerte Horizontalbohrungen und Vereisung für die U-Bahnlinie U5 unter dem Spreekanal in Berlin**

Für die Bahnsteighalle der Station Museumsinsel benötigte man rund 10 km hochgenaue Bohrungen, die in einem eigens entwickelten Bohr- und Steuerungsverfahren unter extremen geotechnischen Randbedingungen eingebracht wurden. Gemeinsam mit dem Auftraggeber vor Ort durchgeführte Probebohrungen schufen eine Wissens- und Vertrauensbasis, die eine effiziente Bauausführung und eine gerechte Abrechnung von Hindernissen ermöglichten. Zur Überwachung der Gefrieranlagen und des Frostkörpers dienen über 2.000 Sensoren, die in einem bisher einzigartigen Sensornetzwerk miteinander verknüpft sind. Die Messwerte werden grafisch aufbereitet und den zuständigen Stellen raumbezogen in Nahezu-Echtzeit zur Verfügung gestellt.

- ▶ Christoph Deporta und Roman Weidacher (Keller Grundbau): **Koralmbahn Baulos 60.3 St. Kanzian**
Die Bodenvermörtelung mit dem DS-Verfahren im bindigen Boden wurde hinsichtlich Durchmesser,

Festigkeit, Rücklaufmenge und -behandlung erfolgreich gemeistert. Zur Qualitätssicherung wurden die produktionsrelevanten Daten elektronisch in einer für das Projekt entwickelten Datenbank gesammelt, täglich ausgewertet und grafisch dargestellt.

- ▶ Dr. Ralf J. Plinninger (Dr. Plinninger Geotechnik): **Umfahrung Schwarzkopftunnel, Hanau-Nantenbach**

Baugrund und Bauverfahren sind oft konflikt-behaftete Schnittstellen, weil der Baugrund nur stichprobenartig vorerkundet werden kann. Ein praxisorientierter Überblick baubegleitender ingenieurgeologischer Dokumentation im Spezialtiefbau zeigte Möglichkeiten und Grenzen auf.

Innovationen im Spezialtiefbau

Im letzten Block zu Innovationen im Spezialtiefbau wurden diffizile Untersuchungen vorgestellt, die zu Modifikationen von Verfahren und Baustoffen führen.

Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Blasch

ist freier Fachjournalist.

Kontakt:

gerhard.blasch@gmx.de



GEBIRGSINJEKTION MIT DOPPELPACKER

IHR ZUVERLÄSSIGER PARTNER FÜR INJEKTIONSTECHNIK

Wir fertigen kundenspezifische Produkte, die auf Ihre Anforderungen abgestimmt sind. Fordern Sie uns heraus!



HERSTELLER VON INJEKTIONSTECHNIK

DESOL GmbH
Gewerbestraße 16
D-36148 Kalbach / Rhön

Tel.: +49 6655 9636-0
Fax: +49 6655 9636-6666
info@desol.de | www.desol.de



Neues Prospekt
JETZT bestellen!

Analysen zu Schadensfällen und Risiken bei maschinellen Tunnelvortrieben im Festgestein

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt, Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt, Deutschland

Alexander Kilian, M. Eng., Strabag AG, Frankfurt a. M. Deutschland

Dr.-Ing. Klaus Hönisch, Fichtner GmbH & Co. KG, Stuttgart, Deutschland

1 Einleitung

Während der Herstellung von Tunnelbauwerken birgt der Baugrund ein sehr hohes Risiko für die Bauausführung. Insbesondere im maschinellen Tunnelbau sind Risiken und Schadensfälle erfahrungsgemäß mit sehr hohem Aufwand und sehr hohen Kosten verbunden. Beim Vortrieb des Gotthard-Basistunnels kam es z. B. im Baulos Bodio am 3. März 2006 infolge der hohen Gebirgsdrücke und der daraus resultierenden großen Konvergenzen zu einem Verklemmen der Tunnelbohrmaschine (TBM). Durch eine Überfirstung im Bereich des Bohrkopfs konnte der Vortrieb nach zehn Tagen wiederaufgenommen werden [1].

Die Gefährdungsbilder im Festgestein sind zahlreich und erstrecken sich von niederbrechenden Felsblöcken über extreme Wassereinträge bis hin zu Gasaustritten. Vielfältige Wechselwirkungen geologischer Faktoren werden oftmals erst sichtbar, wenn bei der Ausführung von Tunnelbauprojekten negative Ereignisse auftreten. Komplexe geologische Faktoren, wie z. B. die Inhomogenität des Gebirges, Behinderungen durch veränderlich feste Gesteine und die Auswirkungen hoher Primärspannungen sind deshalb stets zu berücksichtigen. Aufgrund der Inhomogenität/Anisotropie des Gebirges müssen dabei lokale Anpassungen durchgeführt werden, um Sicherheits-, Kosten- und baubetrieblichen Faktoren zu genügen.

An der Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt wurden Tunnelbauprojekte, bei denen es während der Bauausführung zu Schadensfällen kam, untersucht. Insbesondere wurden hierbei Projekte im

An der Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt wurden Tunnelbauprojekte analysiert, bei denen es während der Bauausführung zu Schadensfällen kam. Der vorliegende Beitrag stellt die Ergebnisse dar, die auf Grundlage von 31 Tunnelbauprojekten, die mittels Tunnelbohrmaschine aufgeföhren wurden, ermittelt wurden.

Tunnelbau • Maschineller Vortrieb • Festgestein • Risiko • Schadensfälle

maschinellen Tunnelbau analysiert. In [2] bis [4] finden sich hierzu bereits Ergebnisse von maschinellen Tunnelvortrieben im Locker- und Festgestein. Zwischenzeitlich wurden weitere Projekte analysiert und ausgewertet. Der vorliegende Beitrag stellt die neuen Ergebnisse mit dem Schwerpunkt maschinelle Tunnelvortriebe im Festgestein vor.

2 Maschinentypen

Insgesamt wurden 31 Tunnelbauprojekte, bei denen Schäden während des Vortriebs aufgetreten sind, ausgewertet. In den Projekten kamen folgende drei Maschinentypen zum Einsatz:

- ▶ Offene Tunnelbohrmaschine (Gripper-TBM) in 16 Projekten
- ▶ Tunnelbohrmaschinen mit Schildmantel (TBM-S) in 10 Projekten
- ▶ Doppelschildmaschinen (DSM) in 5 Projekten

Mit 52%, also etwa der Hälfte der Projekte stellt der eingesetzte Maschinentyp Gripper-TBM die Mehrheit dar (**Bild 1**). Im Vergleich zu einem Vortrieb mit einer TBM-S oder einer DSM, bei denen der Hohlraum unmittelbar mit dem Einbau der Tübbingsicherung gestützt wird, findet die planmäßige Stützung des Gebirges beim Vortrieb mit einer Gripper-TBM erst im Nachläuferbereich der Gripper-TBM mittels einer Spritzbetonsicherung statt. Bei den Vortrieben des Gotthard-Basistunnel hatte dieser Bereich z. B. einen Abstand von 46,5 m zur Ortsbrust [5].

Die Maschinentypen unterscheiden sich im Festgestein nicht nur durch die Art der Sicherung, sondern auch in der Art, wie die notwendigen Vortriebskräfte in das Gebirge eingeleitet werden. Bei der Gripper-TBM

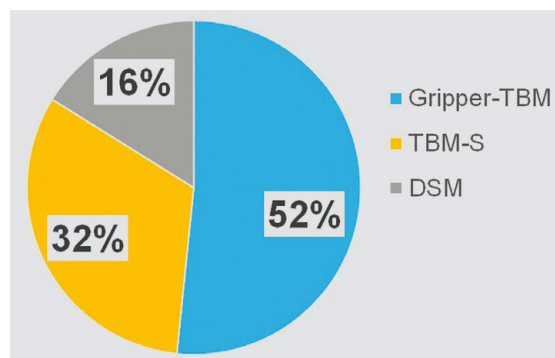


Bild 1: Anteil der verschiedenen Maschinentypen bezogen auf alle Projekte

werden sie über die namensgebende Gripper-Verpressung eingeleitet (**Bild 2**). Beim Vortrieb mit der TBM-S stützen sich die hydraulischen Vorschubpressen auf die Tübbingsicherung ab und erzeugen somit den erforderlichen Anpressdruck auf die Ortsbrust. Bei der DSM, die einen kontinuierlichen Vortrieb ermöglicht, d.h. dass während des Abbaus an der Ortsbrust gleichzeitig die Tübbingsicherung eingebaut wird, kommen die beiden Systeme Gripper-Verpressung und hydraulische Vortriebspressen zum Einsatz. Durch die Unterschiede zwischen den Maschinentypen ergeben sich entsprechende typische Schadensbilder.

3 Risikogruppen

Um eine Bewertung der Schadensfälle durchführen zu können bzw. um die Schadensszenarien zu kategorisieren, wurden Risikogruppen (RG) definiert (**Tabelle 1**). Die Einteilung basiert auf den geologischen Randbedingungen und Ähnlichkeiten in den Schadenssituationen. Die zugehörigen typischen Schadensbilder für die einzelnen Risikogruppen sind in **Tabelle 2** zusammengestellt.

4 Ergebnisse

In den **Tabellen 3 und 4** sind die Häufigkeiten der einzelnen Risikogruppen als Anzahl der Projekte und prozentual für alle Projekte und nach Maschinen-

Tabelle 1: Definition der Risikogruppen (RG) im Festgestein

RG	Definition Risikogruppe
1	hohe Überdeckungshöhen, hohe Gebirgsdrücke, hohe Konvergenzen
2	hohe Wasserzuflüsse, hohe Wasserdrücke und hohe Wassertemperaturen
3	stark zerklüftetes und nachbrüchiges Gebirge
4	hohe Abrasivität des Gebirges
5	hohlraumartige Öffnungen mit oder ohne Füllung
6	Gasvorkommen und andere Gefahrstoffe

Tabelle 3: Häufigkeit der Risikogruppe (RG) bei Tunnelbaustellen im Festgestein und maschinellm Vortrieb [Anzahl Projekte]

RG	Gesamt	Gripper-TBM	TBM-S	DSM
1	16	11	2	3
2	15	9	4	2
3	16	8	6	2
4	6	4	1	1
5	4	2	1	1
6	3	2	0	1

Tabelle 4: Häufigkeit der Risikogruppe (RG) bei Tunnelbaustellen im Festgestein und maschinellm Vortrieb [%]

RG	Gesamt [% bezogen auf 31 Projekte]	Gripper-TBM [% bezogen auf 16 Projekte]	TBM-S [% bezogen auf 10 Projekte]	DSM [% bezogen auf 5 Projekte]
1	52	69	20	60
2	48	56	40	40
3	52	50	60	40
4	19	25	10	20
5	13	13	10	20
6	10	13	0	20



Bild 2: Bereich der Gripper-Verpressung

Tabelle 2: Schadensbilder der einzelnen Risikogruppen (RG)

RG	Schadensbild
1	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Deformation des Querschnitts ▶ Abplatzungen ▶ Bergschläge ▶ Schädigung der Sicherung ▶ Verklemmung der TBM ▶ Vortriebsverzug
2	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Wassereinträge in den Tunnelquerschnitt ▶ Niederbrüche infolge Wasser ▶ Verklemmung der TBM ▶ Setzungen ▶ hohe Temperaturen ▶ Vortriebsverzug
3	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Niederbrüche ▶ Nachbrüche ▶ Ortsbrustinstabilitäten ▶ Verklemmen der TBM ▶ Vortriebsverzug
4	<ul style="list-style-type: none"> ▶ erhöhter Meißelverschleiß ▶ Schädigung der Meißel ▶ erhöhte Stillstandszeiten durch Meißelaustausch
5	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Störzonen mit Lockergestein, brüchigem Fels oder druckhaft weichem Material ▶ Vortrieb mit TBM ggf. nicht möglich ▶ Ortsbrustinstabilitäten ▶ Vortriebsverzug
6	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Vergiftungsgefahr ▶ Erstickungsgefahr ▶ Explosionsgefahr ▶ Vortriebsverzug

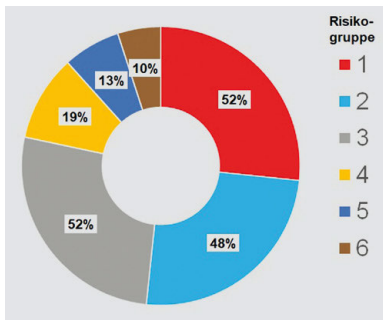


Bild 3: Häufigkeit der Risikogruppe in Anlehnung an Tabelle 4 bezogen auf alle Projekte

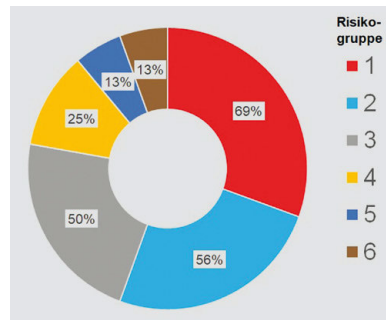


Bild 4: Häufigkeit der Risikogruppe in Anlehnung an Tabelle 4 für Maschinentyp Gripper-TBM

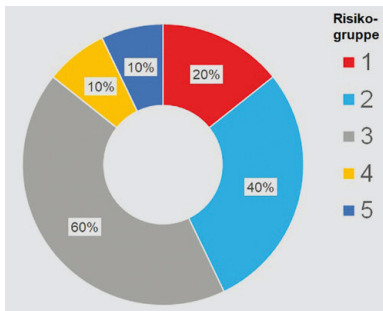


Bild 5: Häufigkeit der Risikogruppe in Anlehnung an Tabelle 4 für Maschinentyp TBM-S

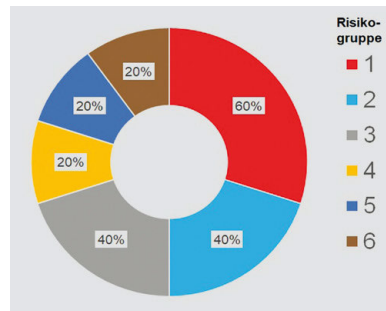


Bild 6: Häufigkeit der Risikogruppe in Anlehnung an Tabelle 4 für Maschinentyp DSM

Tabelle 5: Maßnahmen zur Schadensbehebung bzw. -vermeidung für die einzelnen Risikogruppen (RG)

RG	Ergriffene Maßnahmen
1	<ul style="list-style-type: none"> intensivierte Tunnelsicherung (kurze Sicherungsintervalle, Einsatz engmaschiger Sicherungssysteme, Stahlbögen zur besseren Kraftübertragung) Mehrausbruch durch Überschneit der TBM Nachprofilierung der beschädigten Sicherung Befreien der TBM (Mehrausbruch im Firstbereich, schirmartige Stahlbogenkonstruktion um den Bohrkopf, Gegenvortrieb, ggf. Rückbau der TBM und weiter hinten neuer Aufbau)
2	<ul style="list-style-type: none"> umfangreiche Erkundungsbohrungen Einsatz von Injektionsmitteln Dränagesysteme (zur Entwässerung und Wasserdruckreduktion) Einsatz von Filterrohren, um das Ausspülen von Feinmaterialien und als Folge Scherbewegungen zu vermeiden Sicherung gegen Niederbrüche (Gitter, Injektionen, Spritzbeton, Anker) Befreien der TBM (Mehrausbruch im Firstbereich, schirmartige Stahlbogenkonstruktion um den Bohrkopf, Gegenvortrieb, ggf. Rückbau der TBM und weiter hinten neuer Aufbau) Einsatz einer TBM mit geschlossenem Drucksystem Einsatz von Kühlungs- und Ventilationssystemen
3	<ul style="list-style-type: none"> umfangreiche Erkundungsbohrungen umfangreiche Firstsicherung (Gitter, Spritzbeton, Injektionen) Befreien der TBM (Mehrausbruch im Firstbereich, schirmartige Stahlbogenkonstruktion um den Bohrkopf, Gegenvortrieb, ggf. Rückbau der TBM und weiter hinten neu Aufsetzen)
4	<ul style="list-style-type: none"> Betonitsuspensionen an Ortsbrust zur Reduktion der Abrasivität Einsatz von „Wear Plates“ und „Boomerangs“ bei Meißeln zur Verschleißreduktion
5	<ul style="list-style-type: none"> umfangreiche Erkundungsbohrungen umfangreiche Firstsicherung (Gitter, Spritzbeton, Injektionen, McNally-Verfahren) Dränagesysteme (zur Entwässerung und Wasserdruckreduktion) Einsatz einer TBM mit geschlossenem Drucksystem
6	<ul style="list-style-type: none"> umfangreiche Ventilationsanlagen Einbringen von Gasetektoren und Strahlenmessgeräten am Bohrkopf der TBM langsame Vortriebsarbeiten Unterbrechung der Stromversorgung im Tunnel bei Gaserkennung

typ getrennt zusammengefasst. Hierbei ist zu beachten, dass für das einzelne Projekt unterschiedliche Risikogruppen zutreffen können. Auf alle Projekte bezogen ergeben sich für die Risikogruppen 1 bis 3 in einer ähnlichen Größenordnung die größten Häufigkeiten (**Bild 3**). Die meisten Schäden entstehen also bei hohen Überdeckungshöhen, hohen Gebirgsdrücken, hohen Konvergenzen, hohen Wasserzuflüssen, hohen Wasserdrücken und vereinzelt Wassertemperaturen sowie stark zerklüftetem und nachbrüchigem Gebirge.

Bei der Betrachtung bezogen auf den einzelnen Maschinentyp zeigen sich zwischen den einzelnen Maschinentypen signifikante Unterschiede. Für die Gripper-TBM stellt die Risikogruppe 1 die Gruppe mit der größten Häufigkeit von 69% dar (**Bild 4**). Das Haupteinsatzgebiet der Gripper-TBM ist im standfesten und in geringem Umfang im gestörten Gebirge, d. h. als Richtwert sollten ca. 80 bis 90 % der Tunnellänge weitgehend standfest sein. Da bei der Gripper-TBM im Regelvortrieb die Spritzbetonsicherung möglichst sehr spät im Nachläuferbereich und nicht unmittelbar erfolgt, stellen gerade hohe Gebirgsdrücke und hohe Konvergenzen ein gravierendes Risiko dar. Die Risikogruppen 2 bis 6 für die Gripper-TBM weisen sehr ähnliche Häufigkeiten wie bei der Betrachtung aller Projekte auf.

Bei der TBM-S zeigt sich dagegen ein anderes Bild. Hier ist die Risikogruppe 3 (stark zerklüftetes und nachbrüchiges Gebirge) die Gruppe mit der größten Häufigkeit (**Bild 5**). Dies deckt sich mit dem Haupteinsatzgebiet der TBM-S, die i. d. R. hauptsächlich im nachbrüchigen bis gebrächnen Gebirge zum Einsatz kommt. Im Vergleich zu den Häufigkeiten der Risikogruppe bei der Gripper-TBM ist deutlich eine andere Ausprägung in der Häufigkeit der einzelnen Risikogruppen zu sehen.

Die Risikohäufigkeiten beim Maschinentyp DSM (**Bild 6**) sind ähnlich wie beim Maschinentyp Gripper-TBM. Die Risikogruppe 1 ist hier wie bei der Gripper-TBM am stärksten vertreten. Danach folgen die Risikogruppen 2 und 3 und im hinteren Drittel die Risikogruppen 4 bis 6. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass bei der Analyse nur fünf Projekte zur Verfügung standen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei den Schadensfällen sind neben den Analysen der Schäden, die Maßnahmen, die ergriffen wurden, um die Schäden zu mindern bzw. um den weiteren Vortrieb zu beschleunigen. In **Tabelle 5** sind die Maßnahmen, die in den einzelnen Projekten ergriffen wurden, zusammengefasst. Generell ist zu erkennen, dass zum einen die Maßnahmen zur Tunnelsicherung verstärkt wurden, d. h. die Sicherungen wurden bei der Gripper-TBM beispielsweise unmittelbar eingebaut. Zum anderen wurden zur Überprüfung der geologischen Verhältnisse umfangreiche Erkundungsbohrungen durchgeführt, damit geeignete Zusatzmaßnahmen ergriffen werden konnten. Ebenso wurden maschinentechnische Veränderungen vorgenommen, z. B. durch die Erzeugung eines größeren Überschnitts. In den Extremfällen musste die TBM durch aufwändige Maßnahmen befreit werden.

5 Fazit

Ein hundertprozentig planmäßiger Tunnelvortrieb kann nie garantiert werden. Selbst umfangreiche und qualitativ hochwertige geotechnische Vorerkundungen sind keine Garantie dafür, dass Schadensfälle ausgeschlossen werden können. Ein Restrisiko bleibt immer bestehen. Jedoch sinkt die Risikoschwere von Schadensfällen, je umfangreicher und qualitativ hochwertiger die geotechnische Vorerkundung ist. Dabei bleibt aber natürlich trotzdem die Forderung, die Kosten für die Erkundung vor der Bauphase so gering wie möglich zu halten.

Bei den untersuchten Schadensfällen zeigt sich, dass die geologischen Randbedingungen maßgeblich für die Schwere des Schadensfalls sind. Deutlich wird, dass die Geologie bereichsweise gravierend anders war, als sie sich anhand der geotechnischen Vorerkundung darstellte. Das bedeutete bei einigen analysierten Tunnelvortrieben sogar, dass der geplante und eingesetzte Maschinentyp nicht die optimale Lösung war.

Dieser Artikel gibt nur einen Überblick über die umfangreichen Untersuchungen und Analysen. Die Untersuchungen und Analysen sind in [2] und [6] vollständig und ausführlicher dokumentiert.

6 Literatur

- [1] Ferrari, A.; Pedrazzini, S.: Experiences with TBM drives in the Gotthard BaseTunnel, Bodio section, 2008.
- [2] Bien, S.: Analyse und Bewertung von Schadensfällen während der Bauausführung im maschinellen Tunnelbau, AV Akademikerverlag, 2015.
- [3] Bien, S.; Schmitt, J.; Krajewski, W.: Schadensfälle im maschinellen Tunnelbau - Risiko Baugrund, BauPortal, 8/2015, S. 12-15.
- [4] Bien, S.; Schmitt, J.; Krajewski, W.: Risikofaktor Baugrund im maschinellen Tunnelbau - Untersuchungen von Schadensfällen während der Bauausführung, 10. Kolloquium 'Bauen in Boden und Fels', Technische Akademie Esslingen, 19.-20.01.2016, S. 249-255.
- [5] Gollegger, J., Priller, A., Rausch, M.: Einsatz von offenen Tunnelbohrmaschinen bei druckhaftem Gebirge im Gotthard Basistunnel, Geomechanics and Tunneling 2 (2009), No. 5, S. 591-600.
- [6] Kilian, A.: Untersuchungen zu Schadensfällen bei maschinellen Tunnelvortrieben im Fels, Masterthesis, Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt, 2018.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmitt

vertritt im Fachbereich Bauingenieurwesen an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt die Forschungs- und Lehrgebiete Geotechnik und Tunnelbau.

Kontakt: juergen.schmitt@h-da.de



Alexander Kilian, M. Eng.

hat an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Darmstadt Bauingenieurwesen studiert und ist derzeit als Trainee für die STRABAG AG tätig.

Kontakt: alexander-kilian@t-online.de



Dr.-Ing. Klaus Hönisch

ist jetzt im Ruhestand als Berater bei der Fichtner GmbH & Co. KG, Erneuerbare Energien, Abteilung Wasserkraft in Stuttgart mit dem Schwerpunkt Felsbau tätig.

Kontakt: klaus.hoenisch@fichtner.de



mago-pack

mago-Tunnelbau-Spezialplatten
Lastverteilungsplatten für den Tunnelbau

mago-tunneling-specialboards
Load distribution plates for tunnel constructions

Weitere Informationen, Prüfzertifikate und -zeugnisse: | More details and test certificates:
TU@mago-pack.de ■ T +49 (0) 441 219 855-0 ■ F-29

Erfolgreich eingesetzt: Successfully used:

- Katzenbergtunnel, NBS Karlsruhe-Basel
- City-Tunnel, Leipzig
- Finnetunnel, Weimar
- Kaiser-Wilhelm-Tunnel, Cochem
- U-Bahn-Linie 4, Hamburg
- Brenner-Zulaufstrecke Nord
- Sluiskiltunnel, Terneuzen (NL)
- Stadtbahntunnel, Karlsruhe
- Bößlertunnel, NBS Wendlingen-Ulm
- Koralmtunnel KAT 3, Steiermark
- Tunnel Rastatt, NBS Karlsruhe-Basel
- Cityringen, Erweiterung Metro Kopenhagen
- Metro Tel Aviv, Israel
- U5 EUROPA-Viertel, Frankfurt/Main

Schachtfördertechnik digital – Produktivitätssteigerung durch Vermeidung von Stillständen

Thilo Pfister, SIEMAG TECBERG GROUP, Haiger, Deutschland

Die Siemag Tecberg Group baut für den untertägigen Berg- und den Tunnelbau Maschinen und Anlagen für die Schachtförderung sowie die Bergwerks- und Tunnelkühlung. Das Unternehmen verfügt über Know-how aus der Realisierung von über 200 Gesamtanlagen und über 1.000 Fördermaschinen sowie Erfahrungen aus zahlreichen internationalen Montage- und Serviceeinsätzen. Zudem verfügt die Siemag Tecberg GmbH über eigene Erfahrung als Anlagenbetreiber. Sie hat über mehrere Jahre die Anlage „Zwischenangriff Sedrun“ betrieben – eine sehr anspruchsvolle und komplexe Schachtförderanlage (**Bild 1**), der eine Schlüsselfunktion beim Bau des Gotthard-Basistunnels zukam [1, 2].

Die Siemag Tecberg Group hat unter Nutzung ihrer Erfahrungen zusätzlich eine Plattform „Tecberg digital“ zur modularen automatisierten Nutzung digitaler Pro-

Der zuverlässigen Verfügbarkeit von Schachtfördertechnik kommt im untertägigen Bergbau und im Tunnelbau entscheidende Bedeutung zu. Die SIEMAG TECBERG GROUP nutzt daher digitale Prozess- und Messdaten, um erweiterte Serviceangebote für gelieferte Maschinen und Anlagen anzubieten. Damit sollen Stillstände vermieden, die Instandhaltung effizient gemanagt und die Produktivität gesteigert werden.

Bergbau • Tunnelbau • Schachtfördertechnik • Digitalisierung • Produktivität • Instandhaltung

zess- und Messdaten entwickelt. Dieses Management-tool ermöglicht die Verknüpfung der Module:

- ▶ Zustandsüberwachung (Condition Monitoring)
- ▶ Verwaltung, Organisation und Dokumentation anlagenspezifischer Instandhaltung
- ▶ Fernüberwachung (Remote Monitoring) durch die Siemag Tecberg Group im Fernüberwachungszentrum (Remote Monitoring Centre) durch Nutzung einer VPN-Verbindung zur Datenübertragung
 - Expertenanalyse mit Onlinediagnose und Quartalsbericht mit Verbesserungspotenzial
 - Hotline

Dieser Artikel erläutert eine Plattform zur Nutzung digitaler Prozess- und Messdaten fördertechnischer Anlagen mit einem ganzheitlichen Sicherheitsansatz und berichtet über ein Anwendungsbeispiel für ein Erzbergwerk in Nordeuropa. Die Neuentwicklung soll die Anlagenbetreiber unterstützen, ungeplante Stillstände zu vermeiden und die Anlagenproduktivität und -sicherheit zu erhöhen.

Zustandsüberwachung (Condition Monitoring)

Aktuelle Informationen zu den Verschleißreserven und frühzeitige Erkennung sich anbahnender Schäden der Anlagenbauteile sind elementare Voraussetzungen zur Vermeidung unplanmäßiger Stillstandszeiten. Das Modul „Condition Monitoring“ kann die dafür erforderlichen Daten jederzeit digital liefern (**Bild 2**).

Zu diesem Zweck werden an den für die Instandhaltung relevanten Bauteilen der Anlage Sensoren montiert. Diese liefern Daten z. B. über Temperaturen und Vibrationen der Bauteile, deren Abnutzungsgrad oder auch den Fremdpartikelgehalt in Hydraulikölen. Neben den Sensordaten werden auch ausgewählte Prozessdaten



Bild 1: 4-Seil-Koepe-Fördermaschine am Gotthard-Basistunnel

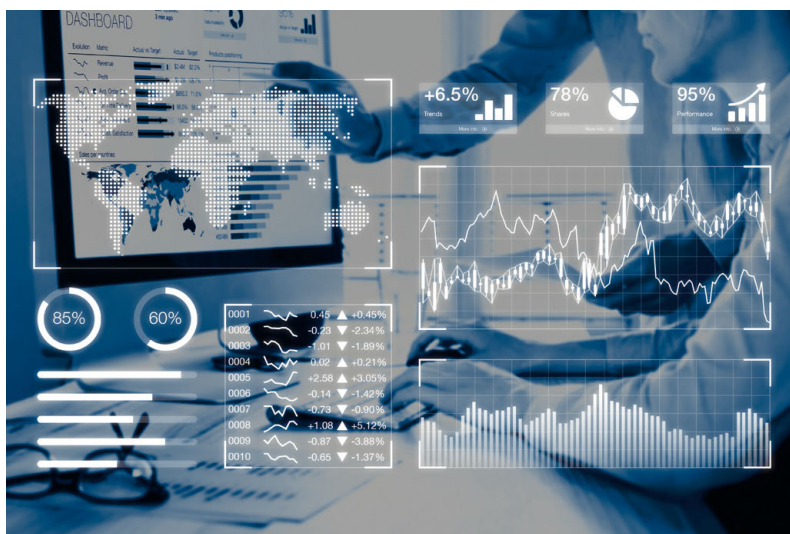


Bild 2: Visualisierung der relevanten aktuellen Maschinen- und Anlagendaten

an das anlagenseitig eingerichtete Data Center übertragen, um hier die datenbankbasierte und selbstlernende Trendanalyse zu durchlaufen. Weichen die ermittelten Werte von früheren Werten ab oder werden definierte Grenzwerte verletzt, kann zusätzlich zur bauteilbezogenen Desktopvisualisierung eine automatische Meldung per E-mail oder Messengerdienst an zuvor festgelegte Empfänger ausgelöst werden.

Neben Visualisierung, Meldung und Reporting bietet Tecberg digital eine Übertragung der relevanten Statusinformationen zum integrierten Servicemanagement: das System löst konkrete Wartungsvorschläge mit Handlungsempfehlungen aus, die im Modul Servicemanagement komfortabel und effizient in die Instandhaltungsplanung integriert werden können. So können Instandhaltungsarbeiten gezielt in produktionsfreie Zeiträume geplant und erforderliche Ressourcen rechtzeitig disponiert werden.

Service management (Service Management)

Das Modul „Service Management“ dient der effizienten Planung, Steuerung und Überwachung aller Instandhaltungsmaßnahmen und der dafür erforderlichen Ressourcen und einer nachweissicheren Dokumentation der Instandhaltungsmaßnahmen und der Anlagenhistorie.

Die Software unterstützt den Anlagenbetreiber nachweislich bei der Sicherstellung der Verfügbarkeit seiner Anlagen, Maschinen und Werkzeuge und der Reduzierung der Instandhaltungskosten. Sowohl instandhaltungsrelevante Bauteile als auch wiederkehrende Instandhaltungsmaßnahmen werden mit übersichtlichen Stammdatenblättern im System hinterlegt. Die dynamische Fristenüberwachung informiert rechtzeitig über anstehende Instandhaltungstätigkeiten und berücksichtigt automatisch hinterlegte Planzeiten und Ressourcen.

Basierend auf einer individuell angepassten Anlagenmatrix und individuellen Arbeitsplänen führt die Instandhaltungsmanagementsoftware durch die Inspektionen, Wartung und Instandsetzung. Ausgeführte Instandhaltungsaufträge einschließlich eventueller Feststellungen, tatsächlich benötigter Arbeitszeiten und verbrauchter Materialien können im System zurückgemeldet werden. Über die integrierte Ersatzteilbestandsverwaltung werden die für einen Instandhaltungsauftrag hinterlegten Ersatzteile bzw. die tatsächlichen Verbräuche automatisch vom Bestand abgezogen. Über Schnittstellen können Bestände auch mit einem kundenseitig vorhandenen ERP-System abgeglichen sowie bei Erreichen von Minimalbeständen direkt Bedarfsmittelungen ausgelöst werden.

Das integrierte Reportingtool erstellt eine vollständige Historie und unterstützt den Betreiber mit detaillierten Protokollen beim Führen des Betriebsbuchs mit nachweissicherer Auskunft zu allen durchgeführten Instandhaltungsmaßnahmen. Umfangreiche Analysen informieren übersichtlich zu Kosten, Wartungsintensität sowie Ersatzteilbedarf.

Durch das optional erhältliche Modul „smart Mobile“ erhält der Servicemitarbeiter die Möglichkeit, seinen Bericht z.B. mit Tablet auch offline direkt in das System einzupflegen und zusätzliche Informationen, wie Zeichnungen, Ersatzteillisten und Anleitungen, zur Bearbeitung des Instandhaltungsauftrags abzurufen.

Digital Twin aus Projektierungsphase

Bereits während der Projektierungsphase wird bei Siemens Tecberg eine für die individuelle Anlage gezielt auf die Module „Condition Monitoring“ und „Service Management“ zugeschnittene Anlagenmatrix erstellt. Sie stellt ein virtuelles Abbild der Maschine dar, deren Daten mit denen der realen Anlage ausgetauscht werden können. In der Matrix werden zunächst alle Bauteile und Erzeugnisse der Anlage in einer für das Monitoring und die Instandhaltung relevanten Tiefe zu einer Anlagenstruktur zusammengeführt. Enthalten sind z. B. jene Bauteile, für die nach geltenden Vorschriften Instandhaltungsarbeiten vorgeschrieben sind, die für die Zustands- und Belastungsbeurteilung der Gesamtanlage oder für die Visualisierung relevant sind, sowie solche, die funktionskritisch für die Produktivität der Anlage sind.

Für diese Strukturkomponenten werden zeitzyklische, belastungsabhängige und zustandsabhängige Inspektions-, Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten hinterlegt. Weiter werden die Strukturkomponenten in Bezug auf die Häufigkeit, Konsequenz und Vorhersehbarkeit eines Ausfalls, die Wiederbeschaffungszeit und die für einen Austausch erforderlichen Ressourcen klassifiziert. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Ermittlung des „Severity-Index“ (**Bild 3**) – also die Einstufung der Komponenten in Abhängigkeit von den Auswirkungen, die deren unplanmäßiger Ausfall hat. Die Notwendigkeit der Bestimmung des Severity-Index beruht zum einen auf der hohen Sicherheitsre-



Bild 3: Severity-Index

levanz einiger Baugruppen, durch deren Defekt großer Personen- und/oder Sachschaden entstehen kann. Zum anderen kann bei einem Defekt diverser Komponenten die gesamte Produktion gestört und somit das Betriebsergebnis des Anlagenbetreibers geschädigt werden. Die anhand des Severity-Index festgelegte Instandhaltungsstrategie und die daraus resultierenden Maßnahmen unterstützen den Betreiber bei der Vermeidung unerwünschter Konsequenzen.

Fernüberwachung (Remote Monitoring)

Expertenanalyse

Eine über die automatisierte Datenanalyse hinausgehende Auswertung bietet Siemag Tecberg mithilfe eines Remote Monitoring Centre (Fernüberwachungszentrum) am Hauptsitz der Siemag Tecberg in Haiger, Deutschland. Die über VPN-Verbindungen und mit Firewalls gesichert aus dem Bergwerk in das Remote Monitoring Centre übertragenen Daten zu Prozess und Status werden dazu quartalsweise zusätzlich von

Experten – in-house oder bei Bedarf durch Unterlieferanten – analysiert und ausgewertet (**Bild 4**). Zusammen mit den automatisiert generierten Auswertungen erhält der Betreiber einen Quartalsbericht, der Verbesserungspotenzial in Bezug auf die Instandhaltungsstrategie aufzeigt und weitergehende Handlungsempfehlungen gibt.

Servicehotline

Zur Klärung „akuter“ Rückfragen bietet Siemag Tecberg Modelle einer Servicehotline mit unterschiedlichen Erreichbarkeiten an, nämlich:

- Werktätlich
- Werktätlich und an Wochenenden
- 24/7 rund um die Uhr

Remote Diagnostic

Als Erweiterung der Servicehotline besteht die Möglichkeit der Einrichtung eines Onlinezugriffs, den die

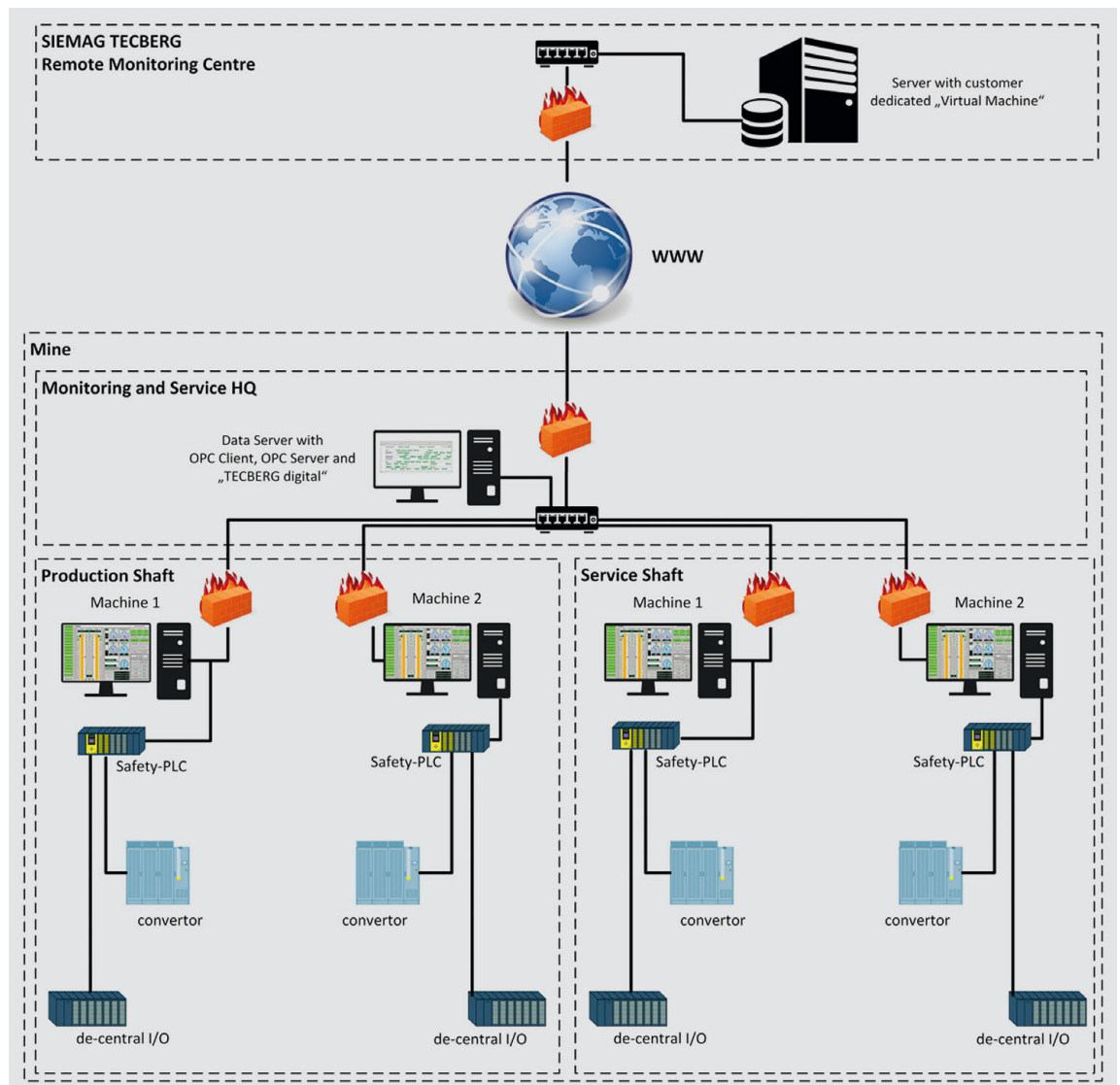


Bild 4: Datenübertragung vom Bergwerk zum Siemag Tecberg Remote Monitoring Centre

Experten der Siemag Tecberg GmbH nutzen können, um vom Stammsitz des Unternehmens online auf die Steuerung der Anlage zwecks Ferndiagnose zuzugreifen.

Funktionale Sicherheit von Schachtförderanlagen

Die Maschinensicherheit im Sinne der Teile 1 und 2 der DIN EN ISO 13849 [3, 4] zielt in erster Linie auf die inhärent sichere Konstruktion einer Maschine. Ergibt die durchzuführende Risikoanalyse, dass die allein durch konstruktive Maßnahmen realisierbare Maschinensicherheit nicht dem erforderlichen Niveau entspricht, so müssen ggf. weitere Schutzeinrichtungen vorgesehen werden: diese können rein mechanisch, z. B. Schutzgitter oder Geländer, sein oder darüber hinaus noch durch eine elektrisch, elektronisch oder programmierbare elektronische Steuerung (E/E/PE) überwacht werden, z. B. eine Zugangskontrolle bei Toren in Schutzzäunen. Diese zusätzliche überwachende Funktion wird als funktionale Sicherheit bezeichnet. Abhängig von den jeweiligen gesetzlichen Vorgaben sind die Betreiber von Schachtförderanlagen aufgefordert, eine Gefährdungsbeurteilung als Teil des Sicherheitskonzepts ihrer Anlage zu erstellen, die mögliche Gefahren im Umgang mit der Anlage behandelt.

Ganzheitlicher Ansatz

Zertifizierung nach Sicherheitsintegritätslevel 3 (SIL 3)

Die Siemag Tecberg group verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz. Sie unterstützt ihre Kunden bereits seit dem Jahr 2010 durch die Integration der funktionalen Sicherheit in Schachtförderanlagen. Ausgehend von ersten Anlagen, vorwiegend in Australien und Kanada, wurden bis heute über zehn Schachtförderanlagen einer entsprechenden Risiko- und Gefährdungsanalyse zur funktionalen Sicherheit unterzogen und nach dem entsprechenden Sicherheitsintegritätslevel (SIL) zertifiziert (**Bild 5**).

Die Sicherheit der handelnden Personen wird stets im Blick behalten, und die Technologien zur Gewährleistung der funktionalen Sicherheit werden beständig weiterentwickelt. Auf diese Weise können Schachtförderanlagen mit Sicherheitsfunktionen bis hin zu einem Sicherheitsintegritätslevel 3 (SIL 3) geliefert werden.

Zum ganzheitlichen Ansatz der Siemag Tecberg group gehört die Zertifizierung nach SIL-3-Standard für folgende Komponenten:

- ▶ Den Fahrtregler
- ▶ Die Bremsanlage
- ▶ Die Schachtsignalanlage
- ▶ Die auf den Fördermitteln installierte Schachtkommunikationstechnik



Bild 5: SIL-Zertifizierung

Lückenloses und modulares Konzept

Das in drei Module untergliederte lückenlose und modulare Konzept zur Integration funktionaler Sicherheit bei Schachtförderanlagen der Siemag Tecberg group folgt den Vorgaben der DIN EN 61508:2011-02 [5]. Darin wird in drei Modulen mit insgesamt 16 Phasen der gesamte Lebenszyklus einer Anlage betrachtet:

- ▶ **Modul 1 mit den Phasen 1 bis 5:**
Zentraler Bestandteil von Modul 1 ist die Feststellung der möglichen Gefährdungen von Personen während des gesamten Lebenszyklus der Anlage und die daraus folgende Ableitung von Sicherheitsfunktionen. Gemeinsam mit Experten des Anlagenbetreibers werden anlagenspezifisch mögliche Gefährdungen ermittelt, bewertet und schließlich das erforderliche Maß an Risikominderung einer jeden Sicherheitsfunktion festgestellt und diese den Anforderungen an die Gesamtsicherheit zugeordnet.
- ▶ **Modul 2 mit den Phasen 6 bis 11:**
Modul 2 umfasst die Planung und Umsetzung der ermittelten Sicherheitsfunktionen. Ausgehend von der festgestellten erforderlichen Risikominderung wird für jede einzelne Sicherheitsfunktion die Umsetzung im Rahmen der funktionalen Sicherheit geplant, umgesetzt und getestet.
- ▶ **Modul 3 mit den Phasen 12 bis 16:**
Im **Modul 3** werden der Bau, die Inbetriebnahme, der Betrieb, der Aus- oder Umbau und nicht zuletzt auch der Rückbau der Anlage betrachtet.

Anwendungsfall einer Schachtförderanlage mit SIL 3

In einem aktuell laufenden Projekt für ein nordeuropäisches Chromerzbergwerk liefert Siemag Tecberg die gesamte Schachtfördertechnik mit Sicherheitsintegri-



Bild 6: 4-Seil-Koepe-Fördermaschine

tätslevel 3 (SIL 3). Der für den europäischen Kunden umzusetzende Auftrag, die Schachtförderanlage nach neuesten Gesichtspunkten im Hinblick auf Sicherheit und Verfügbarkeit zu konzipieren, ist für die Siemag Tecberg group ein weiterer Meilenstein in der Entwicklung ihrer Schachtförderanlagen.

Mit einer Schachttiefe von knapp 1.100 m und einer Jahresförderleistung von 3,3 Mio. t handelt es sich bei der seilgeführten Anlage um die leistungsfähigste Schachtanlage im Kundenland. Im neuen Produktionsschacht mit einem Durchmesser von 6 m findet neben der Produktenförderung in zwei 20-t-Skips auch die Seilfahrt statt. Eine Besonderheit ist dabei, dass die Staubbelaftung für die zu transportierenden Personen auf ein Minimum reduziert werden muss. Realisiert wird dies mit speziell abgedichteten Seilfahrerkabinen und einem integrierten Luftfiltersystem.

Die 4-Seil-Koepe-Fördermaschine mit Gleitlagerung und AC-Direkt-Antrieb wurde genau auf die Bedürfnisse des Kunden ausgelegt (Bild 6). Als Hilfsantrieb ist ein Notfahrantrieb vorgesehen, der im Falle eines Ausfalls des Hauptantriebs in der Lage ist, die Fördermaschine anzutreiben und die Skips im Schacht zu verfahren.

Zum Erhalt von SIL 3 wird im Rahmen der umfangreichen Risikoanalyse das Gesamtsystem der Schachtförderung betrachtet. Dem ganzheitlichen Ansatz zur Sicherheit der handelnden Personen folgend, werden bei diesem Projekt neben dem Fahrtregler unter anderem das Bremssystem, die Schachtsignalanlage und auch die Fördermitteltelefonie nach SIL 3 ausgeführt.

Die neue Schachtanlage wird im Jahre 2021 in Betrieb gehen und das Rückgrat des hochintegrierten Produktionskomplexes des Kunden bilden.

Schlussbemerkungen

Die Auswertung digitaler Prozess- und Messdaten kann zur Planung, Organisation und Steuerung der Instandhaltung von Schachtfördertechnik im Bergbau genutzt werden. Solche zusätzlichen Dienstleistungen eines Systemanbieters, wie der Siemag Tecberg Group, unterstützen die Betreiber dabei, Stillstandszeiten zu vermeiden und die Anlagensicherheit und -produktivität und damit die Wirtschaftlichkeit zu steigern.

Quellenverzeichnis

- [1] Flender, M. (2015): Gotthard-Basistunnel: Die Schachtförderanlagen von Sedrun – Teil 1: Die Rohbauphase. GeoResources Zeitschrift (1-2015), S. 25–34. Online: <https://www.georesources.net/download/GeoResources-Zeitschrift-1-2015.pdf>
- [2] Flender, M. (2015): Gotthard-Basistunnel: Die Schachtförderanlagen von Sedrun – Teil 2: Umrüstungs- und Betriebsphase. GeoResources Zeitschrift (2-2015), S. 27–39. Online: <https://www.georesources.net/download/GeoResources-Zeitschrift-2-2015.pdf>
- [3] DIN EN ISO 13849-1:2016-06: Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Gestaltungsgrundsätze (ISO 13849-1:2015); Deutsche Fassung EN ISO 13849-1:2015
- [4] DIN EN ISO 13849-2:2013-02: Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen - Teil 2: Validierung (ISO 13849-2:2012); Deutsche Fassung EN ISO 13849-2:2012
- [5] DIN EN 61508:2011-02; VDE 0803-1:2011-02: Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme

Thilo Pfister

leitet das Produktmanagement bei SIEMAG-TECBERG GmbH, Haiger, Deutschland.



Kontakt: thilo.pfister@siemag-tecberg.com

Neue Anforderungen für den Bergbau durch strengere Arbeitsplatzgrenzwerte

Dr.-Ing. Rüdiger Triebel, K+S Aktiengesellschaft, Kassel, und MSW-Chemie GmbH, Langelsheim, Deutschland

1 Veranlassung

Im untertägigen Kali- und Steinsalzbergbau der K+S Gruppe erfolgt das Lösen der Wertminerale und Gesteine überwiegend mit Bohr- und Sprengtechnik. Für die Vortriebs- und Gewinnungsarbeiten, die Förderung und den Personentransport kommen dieselgetriebene mobile Maschinen zum Einsatz. Die neuen, ab November 2021 im Bergbau anzuwendenden Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) für NO und NO₂ können (als Schichtmittelwerte) derzeit nicht überall eingehalten werden. Außerdem werden auch die AGW für Kohlenstoffmonoxid und partikelförmige Dieselmotoremissionen verschärft. K+S ist bestrebt, die zukünftig geltenden Werte einzuhalten. Sie übernimmt daher alle möglichen Anstrengungen, um die gesetzlichen Vorgaben für Stickoxide bis zum Ende der für den Bergbau gültigen Übergangsfrist von fünf Jahren zu erfüllen und somit auch zukünftig den Gesundheitsschutz der Beschäftigten gemäß den neuen, deutlich verschärften gesetzlichen Vorgaben zu gewährleisten. Die Anstrengungen und Maßnahmen bestehen insbesondere aus den im **Bild 1** dargestellten vier Pfeilern der Bereiche Motoren-, Wetter- und Sprengtechnik sowie Arbeitsmedizin.

2 Rechtliche Situation

Arbeitsplatzgrenzwerte sind ein wichtiger Beitrag zum Schutz der Gesundheit und Sicherheit von Beschäftigten gegenüber Gefahrstoffen. Gemäß Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [1] gibt ein Arbeitsplatzgrenzwert an, bei welcher Konzentration eines Stoffs akute oder chronische schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit im Allgemeinen nicht zu erwarten sind. Die Festlegung von Arbeitsplatzgrenzwerten erfolgt auf Basis arbeitsmedizinischer Erfahrungen, Studien und toxikologischer Erkenntnisse.

Die bisher mit unter Tage Beschäftigten durchgeführten arbeitsmedizinischen Studien lassen eine Ableitung von Arbeitsplatzgrenzwerten für Stickoxide nicht zu, da die gesundheitsrelevanten Auswirkungen der typischen Mischexposition – sofern überhaupt nachweisbar – nicht genau einer Gaskomponente zugeordnet werden können [2]. Die in 2016 veröffentlichten Ergebnisse einer sogenannten Kammerstudie ergaben für Expositionen bis 1,5 ppm NO₂ keine schädlichen gesundheitlichen Auswirkungen bei den Probanden unter den Versuchsbedingungen in einem Expositions-labor [3].

Die K+S Gruppe steht nach dem Beschluss der in Deutschland zukünftig anzuwendenden Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) für Stickoxide in Grubenbetrieben vor großen Herausforderungen. Hinzu kommen weitere Verschärfungen der AGW für Kohlenstoffmonoxid und partikelförmige Dieselmotoremissionen. Dieser Artikel beschreibt die Anstrengungen und das Maßnahmenpaket, um die strengeren Anforderungen zu erfüllen.

Bergbau • Kali und Salz • Maschinentechnik • HSE • Sprengtechnik • Wettertechnik

Zu Beginn der Diskussionen um die Absenkung der AGW wurde seitens des europäischen SCOEL (Wissenschaftlicher Ausschuss für Grenzwerte berufsbedingter Expositionen - Scientific Committee on Occupational Exposure Limits) die Absenkung auf jeweils 0,2 ppm für Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂) empfohlen. Die bisher seitens der Bergbauindustrie vorgebrachten Argumente gegen diese drastische Absenkung der Arbeitsplatzgrenzwerte für Stickoxide konzentrierten sich dementsprechend auf drei Schwerpunkte, nämlich:

- ▶ Das Fehlen hinreichender arbeitsmedizinischer Erkenntnisse
- ▶ Die zu hohen technischen Anforderungen und wirtschaftlichen Konsequenzen
- ▶ Die fehlende Verfügbarkeit mobiler Messgeräte mit entsprechenden Nachweisgrenzen für die Freigabe der Arbeitsbereiche unter Tage



Bild 1: Pfeiler des Maßnahmenpakets im K+S-Projekt Arbeitsplatzgrenzwerte

	Deutschland bisher	USA in Kraft	Canada (ON, QB) in Kraft	Deutschland aktuell
Stickstoffmonoxid NO	(25 ppm)	25 ppm	25 ppm	2 ppm
Stickstoffdioxid NO ₂	(5 ppm)	5 ppm	3 ppm	0,5 ppm
Diesel Partikel Emissionen	300 µg/m ³ EC (unter Tage)	160 µg/m ³ TC 80 µg/m ³ TC	400 µg/m ³ TC (240 µg/m ³ EC)	50 µg/m ³ EC
Kohlenstoff- monoxid CO	30 ppm			(EU: 20 ppm)

Bild 2: Änderung von AGW* in der TRGS 900 [5] zum 31.10.2016 im Vergleich zu AGW in den USA und Kanada

* neue AGW für NO und NO₂ im Bergbau in Deutschland für 5 Jahre ausgesetzt, nach 3 Jahren Überprüfung der vorgelegten Maßnahmenpläne und erreichten Ergebnisse vorgesehen

Die wissenschaftliche Argumentation hat sich im Laufe der Jahre verändert, die von der Bergbauindustrie vorgebrachte Kritik wurde aufgegriffen, und es werden zunehmend epidemiologische Studien berücksichtigt. Es lagen jedoch keine Studien vor, die hinreichend aufzeigten, dass die im Bergbau vorliegenden Expositionen nicht zu gesundheitlichen Effekten führen. Dies führte u. a. zu den zwischenzeitlich beschlossenen neuen AGW (Bild 2).

Auf europäischer Ebene wurde das Verfahren der Festlegung von Arbeitsplatzgrenzwerten für Stickoxide kürzlich abgeschlossen, wobei es sich um nicht bindende Grenzwertempfehlungen handelt, sodass die nationalen Gremien von den Empfehlungen der EU abweichen können.

Den seinerzeit erwarteten Empfehlungen der EU voreilend hat der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS) in 2016 die zukünftig in Deutschland anzuwendenden Arbeitsplatzgrenzwerte für Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂) dem Grunde und der Höhe nach beschlossen. Im Vorfeld dieser drastischen Reduzierung hatte insbesondere die Bergbauindustrie starke Anstrengungen unternommen, angemessene Lösungen für die betroffenen Betriebe zu verhandeln. Es konnte überzeugend dargestellt werden, dass zur Erreichung der neuen AGW weitreichende, aufwendige und kostenintensive Maßnahmen erforderlich sind und für die Umsetzung der erforderlichen technischen und organisatorischen Maßnahmen in der Bergbaubranche eine angemessene Übergangsfrist benötigt wird. Letztlich konnte zumindest eine Übergangsfrist von fünf Jahren erwirkt werden, wobei nach drei Jahren eine Überprü-

fung des vorgelegten Maßnahmenplans und der erreichten Ergebnisse vorgesehen ist.

Die Reduzierung des Arbeitsplatzgrenzwerts für partikelförmige Dieselmotoremissionen bezogen auf den elementaren Kohlenstoff (EC-DME) ist in Deutschland ebenfalls abgeschlossen, die Neufestlegung erfolgte im September 2017 mit dem Zusatz „Gilt nicht für den untertägigen Bergbau bis 31. Oktober 2022.“ [4].

Die aktuell und zukünftig in Deutschland anzuwendenden Arbeitsplatzgrenzwerte sind im Bild 2 dargestellt, ebenso ausgewählte Arbeitsplatzgrenzwerte für USA und Kanada, wo die K+S Gruppe weitere untertägige Bergwerke betreibt. Der Überschreitungsfaktor für NO und NO₂ ist zukünftig jeweils mit 2 vorgesehen, d. h. dass die Exposition während einer Schicht mehrmals für maximal 15 Minuten bis zum Zweifachen des Arbeitsplatzgrenzwerts betragen, der 8-Stunden-Schichtmittelwert jedoch den Arbeitsplatzgrenzwert nicht überschreiten darf.

Die Reduzierung des Arbeitsplatzgrenzwerts für Kohlenstoffmonoxid (CO) von 30 ppm auf 20 ppm ist ebenfalls in Bearbeitung. K+S nutzt bisher in den meisten Grubenbetrieben die Gaskomponente CO als Leitkomponente für die Freigabe der Arbeitsbereiche unter Tage. Die Zusammensetzung der Sprengschwaden von AnDEX LD, dem Standardsprengstoff der K+S Gruppe in Deutschland, wurde dementsprechend seitens des Herstellers MSW-Chemie GmbH über den Ölgehalt und somit über die Sauerstoffbilanz so eingestellt, dass bei der mobil messbaren Unterschreitung des AGW für CO auch die AGW für Stickoxide unterschritten sind. Die angekündigte Reduzierung des Arbeitsplatzgrenzwerts für CO wird seitens der Gremien insbesondere mit dem Schutz schwangerer Frauen bzw. des ungeborenen Lebens begründet. Die Tatsache, dass in Deutschland schwangere Frauen unter Tage gar nicht beschäftigt werden dürfen, wurde hierbei offensichtlich nicht berücksichtigt.

3 Expositionen unter Tage

Grundsätzlich ist die Exposition von Beschäftigten unter Tage gegenüber Stickoxiden auf die Vorbelastung der Frischwetter und auf die beiden betriebsbedingten Emittenten Sprengschwaden und Dieselmotoremissionen zurückzuführen. Im Bild 3 sind die technischen Emissionen und die Grubenbewetterung schematisch dargestellt.

Sprengschwaden, die für Arbeitsplatzgrenzwerte relevante Anteile an Stickoxiden und Kohlenstoffoxiden enthalten, werden in den Grubenbetrieben des Kali- und Steinsalzbergbaus während der festgelegten Sprengzeiten – meist über den Schichtwechsel – freigesetzt und größtenteils durch die Wetterführung, also das System der bedarfsgerechten Zufuhr von Frischluft und Abführung von Abluft, abgeführt. Ein gewisser Restanteil der Sprengschwaden ist im gesprengten Haufwerk gebunden und wird bei den nachfolgenden

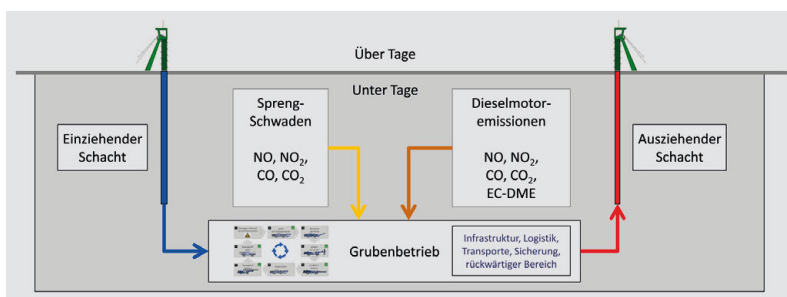


Bild 3: Grubenbewetterung und technische Emissionen

Arbeitsvorgängen Laden, Transportieren und Abkippen des Rohsalzes während der Schichtzeit im Revierbereich freigesetzt.

Dieselmotoremissionen enthalten neben den für Arbeitsplatzgrenzwerte relevanten Stickoxiden und Kohlenstoffoxiden auch Gefahrstoffe, die an Partikel (elementaren Kohlenstoff) gebunden sind. Diese Emissionen werden während der Schichtzeiten durch den Betrieb dieselbetriebener mobiler Maschinen und Fahrzeuge freigesetzt.

Bild 4 zeigt am Beispiel einer älteren Messung den typischen Verlauf der Gaskonzentrationen für Stickoxide und Kohlenstoffoxide auf der Abwetterseite eines Reviers über die Schichtzeit. Sobald die Sprengschwaden abgezogen und die AGW nachweislich unterschritten sind, können die Freigabe der Arbeitsbereiche in der Gewinnung und der Einsatz der mobilen Maschinenteknik erfolgen. Dauer und Höhe der Gaskonzentrationen sind im Wesentlichen von der Vorbelastung der Frischwetterzufuhr des Bereichs, von der Masse des eingesetzten Sprengstoffs und dessen spezifischer Schwadenzusammensetzung, von der Art, der Anzahl, den Einsatzbedingungen und den abgastechnischen Eigenschaften der eingesetzten Maschinen und Fahrzeuge sowie von der Wetterführung abhängig.

Auf Anfrage von K+S wurde die Situation der Exposition von Beschäftigten unter Tage vom Institut für Gefahrstoff-Forschung der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (IGF) in 2014 erneut ermittelt. Dazu fanden in den Werken Zielitz und Werra der K+S Kali GmbH umfangreiche Messungen an den Arbeitsplätzen statt [6,7]. Die aktuell noch anzuwendenden Arbeitsplatzgrenzwerte wurden erwartungsgemäß eingehalten, jedoch zeigte sich teilweise eine Erhöhung der Expositionen im Vergleich zu früheren Messungen. Dies kann im Wesentlichen auf die für den Kalibergbau der flachen Lagerung typische Entwicklung der Grubenbetriebe in die Fläche mit entsprechenden Auswirkungen in der Wetterführung sowie auf den dadurch betrieblich bedingten vermehrten Einsatz dieselgetriebener Maschinen und Fahrzeuge zurückgeführt werden. **Bild 5** zeigt die Verteilung der installierten Dieselleistung auf die Maschinen- und Fahrzeuggruppen für die Grubetriebe der K+S Gruppe in Deutschland.

Im Hinblick auf die relevanten gasförmigen und partikelförmigen Expositionen wurde mit den Messungen in 2014 ermittelt, dass bei Anwendung der inzwischen beschlossenen und ab November 2021 anzuwendenden Arbeitsplatzgrenzwerte diese je nach Komponente in 65 bis 90 % der Fälle überschritten worden wären. Insofern bestätigte sich der Handlungsbedarf zur Expositionsminimierung in den Bergwerken von K+S deutlich.

4 K+S-Maßnahmenplan

Für die zukünftige Einhaltung der neuen Arbeitsplatzgrenzwerte setzt die K+S Gruppe im Wesentlichen

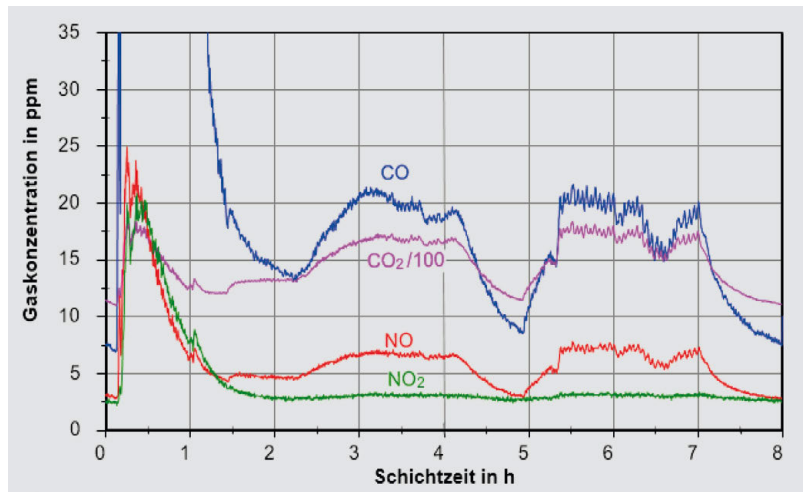


Bild 4: Typischer Verlauf von Gaskonzentrationen abwetterseitig im Revier unter Tage

Maßnahmen in vier Bereichen (**Bild 1**) um, die im Folgenden erläutert werden [8]:

- ▶ Dieselmotoremissionen
- ▶ Wetterführung
- ▶ Sprengschwaden
- ▶ Arbeitsmedizin

4.1 Dieselmotoremissionen

Die Erneuerung der mobilen Maschinenflotte und von Fahrzeugen ist eine wesentliche Stellgröße zur Reduzierung der Emissionen an der Quelle der Entstehung – allerdings verbunden mit intensiver Entwicklungsarbeit und erheblichen finanziellen Aufwendungen. Heute stehen am Markt im Leistungsbereich zwischen 75 und 560 kW mobile Arbeitsmaschinen mit modernster Motorentechnik der Abgasstufe TIERIV final zur Verfügung. Im für die Emissionen nicht minder bedeutsamen Leistungsbereich < 75 kW ist die Entwicklung seitens der Motorenhersteller noch nicht abgeschlossen, sodass Motoren für Bergwerksmaschinen dieser Leistungsgröße erst nach und nach verfügbar werden.

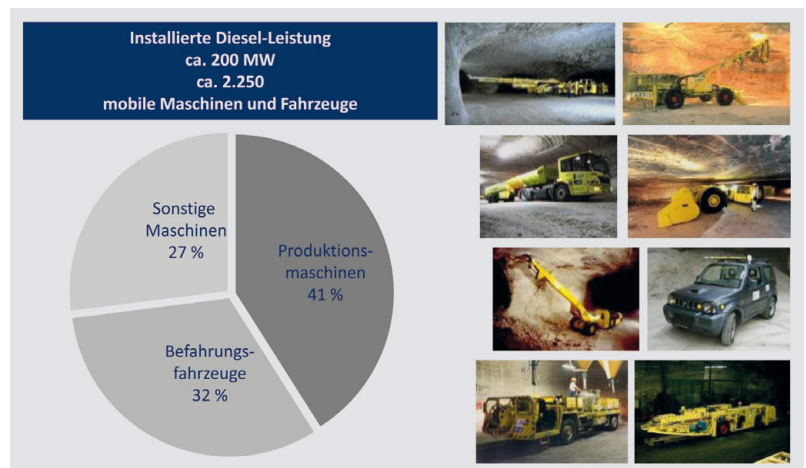


Bild 5: Mobile Maschinen unter Tage der K+S Gruppe in Deutschland

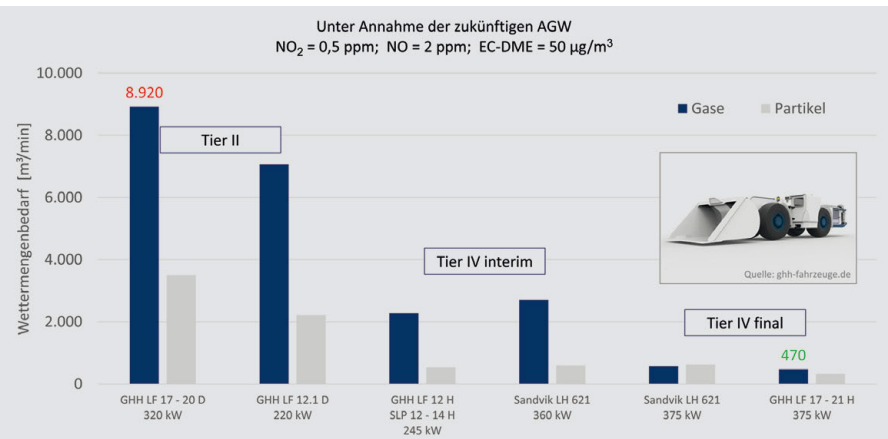


Bild 6: Wettermengenbedarf verschiedener Dieselfahrlader bzw. Motorentypen

Bild 6 zeigt den rechnerisch ermittelten Wettermengenbedarf von Dieselfahrladern der Abgaskategorien TIERII und TIERIV interim bzw. TIERIV final im Vergleich. Es ist erkennbar, dass beim Einsatz von Maschinen

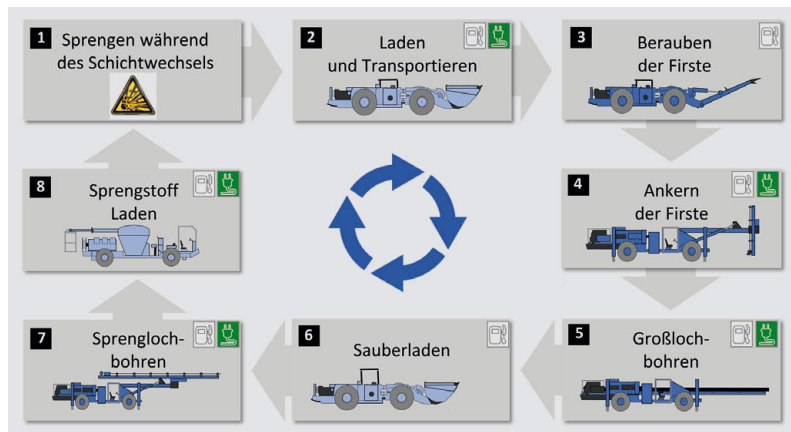


Bild 7: Gewinnungszyklus im Kalibergraben der flachen Lagerung mit mobilen Maschinen und deren Antriebstechnik

– hier Fahrladern – mit älteren Dieselmotoren, z. B. der Kategorie TIERII zur Einhaltung der zukünftig geltenden Arbeitsplatzgrenzwerte eine Wettermenge von 7.000 bis 9.000 m³/Minute je eingesetzter Maschine erforderlich wäre. Dies ist kein realistisches Szenario, denn in den gegebenen Streckenquerschnitten würde die zulässige Wettergeschwindigkeit bei Weitem überschritten, und die insgesamt benötigten Wettermengen – eine Erhöhung um den Faktor 10 wäre mindestens erforderlich – könnten technisch und wirtschaftlich nicht dargestellt werden. Das Kalibergrabenwerk mit der geringsten Förderung der K+S Gruppe in Deutschland verfügt über eine Wettermenge von ca. 14.500 m³/Minute und könnte damit den Betrieb von nur zwei der Maschinen der Abgasstufe TIERII gleichzeitig realisieren. Damit wäre der wirtschaftliche Betrieb des Bergwerks in keiner Weise möglich.

Die Maschinen mit Motorentechnik gemäß Abgasstufe TIERIV final erlauben hingegen mit Wettermengenbedarfen um 500 m³/Minute rechnerisch die Einhaltung der zukünftigen Arbeitsplatzgrenzwerte unter der Voraussetzung, dass die auf den Prüfständen mit entsprechenden Lastzyklen gemessenen Abgaswerte denen im Einsatz unter Tage entsprechen. Für Fahrlader und Beraubemaschinen kommt eine Nachrüstung mit modernsten Dieselmotoren wegen des enormen Platzbedarfs für den Einbau der Abgasnachbehandlungssysteme meist nicht in Betracht.

Für Bohrwagen, Sprengstoffladefahrzeuge und weitere mobile Arbeitsmaschinen ist die Nachrüstung auf emissionsarme Technik grundsätzlich möglich und derzeit in Prüfung. Diese Maschinen werden überwiegend mit Dieselmotorantrieb zum jeweiligen Einsatzort verfahren und sind während des Arbeitseinsatzes vor Ort meist an das grubenweit verfügbare stationäre elektrische Netz angeschlossen. **Bild 7** zeigt den Gewinnungszyklus im Kalibergraben der flachen Lagerung mit den eingesetzten Maschinen, die bereits heute teil- bzw. zeitweise elektrisch angetrieben werden.

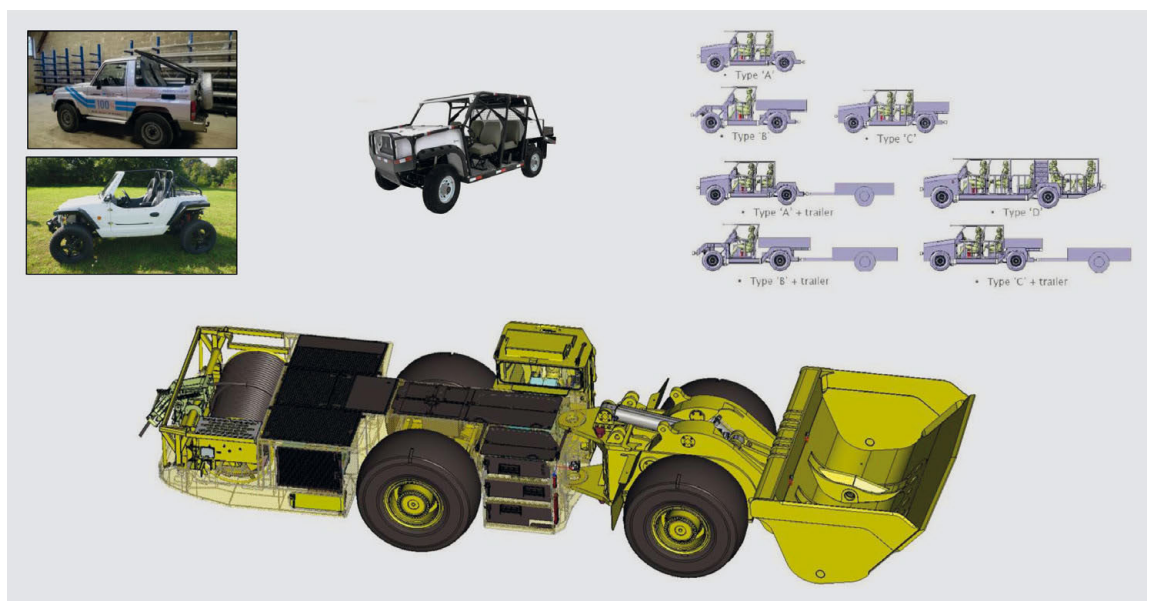


Bild 8: Beispiele für Entwicklungsprojekte mit elektrischer Antriebstechnik



Bild 9: Beispiele für Entwicklungsprojekte mit modernster Dieselmotortechnologie

Ebenfalls geprüft wird die Möglichkeit des bedarfsweisen Einsatzes von Elektroantrieben verschiedener Fahrzeugtypen mit entsprechender Batterietechnik. Für das Bergwerk Borth der esco – European Salt GmbH & Co. KG wurde das erste grubentaugliche Befahrungsfahrzeug mit Elektroantrieb beschafft. Dies stellte in Deutschland den Eintritt der K+S Gruppe in die Elektromobilität für Befahrungsfahrzeuge unter Tage dar. Zwischenzeitlich sind weitere Fahrzeugtypen bei K+S in der Erprobung, um die grundsätzliche Eignung dieser Antriebstechnik und der dafür erforderlichen Energiebereitstellung zu ermitteln, und bei Erfolg wird der Einsatz entsprechend ausgeweitet (**Bild 8**). K+S befindet sich diesbezüglich in einer ähnlichen Situation wie seinerzeit die Deutsche Post. Der Bedarf an Elektrofahrzeugen ist aus Sicht des Bergbaus hoch – aus Sicht der bekannten großen Automobilhersteller verschwindend gering. Daher prüft K+S derzeit den Bau einer eigenen modularen Elektrofahrzeugflotte mit externen Partnern und hat dazu Entwicklungsaufträge vergeben.

Insgesamt stellt die Erneuerung der mobilen Maschinen- und Fahrzeugflotte unter Tage eine große technische und finanzielle Herausforderung für die Bergbauindustrie dar. Die technischen Entwicklungen und auch die Beschaffungsmöglichkeiten selbst werden mit der Zulieferindustrie entsprechend abgestimmt, damit die erforderlichen Entwicklungs- und Fertigungskapazitäten dem aktuellen Bedarf entsprechen, dennoch kann es in bestimmten Bereichen zu Verzögerungen bei der Umsetzung der Maßnahmen kommen (**Bild 9**).

4.2 Wetterführung

Die Versorgung der Grubenbetriebe mit Frischwettern ist technisch und physikalisch durch die Querschnitte der Schächte sowie der untertägigen Strecken und Grubenräume begrenzt. Im Zusammenhang mit der

Absenkung der Arbeitsplatzgrenzwerte wurde in den zuständigen Gremien immer wieder die Erhöhung der Wettermengen diskutiert bzw. gefordert. Wie bereits dargestellt, ist die Absenkung der Arbeitsplatzgrenzwerte mit über 90 % derart drastisch, dass zur Verdünnung der relevanten Gaskomponenten mindestens die 10-fachen Wettermengenströme erforderlich wären. Dies ist aus arbeitssicherheitlicher, technischer und wirtschaftlicher Sicht nicht möglich und kollidiert darüber hinaus mit anderen Vorschriften, wie beispielsweise den maximal zulässigen Luftgeschwindigkeiten in untertägigen Grubenbauen. Allerdings werden die Untertagebetrie-



Bild 10: Wetterführung im Kalibergbau

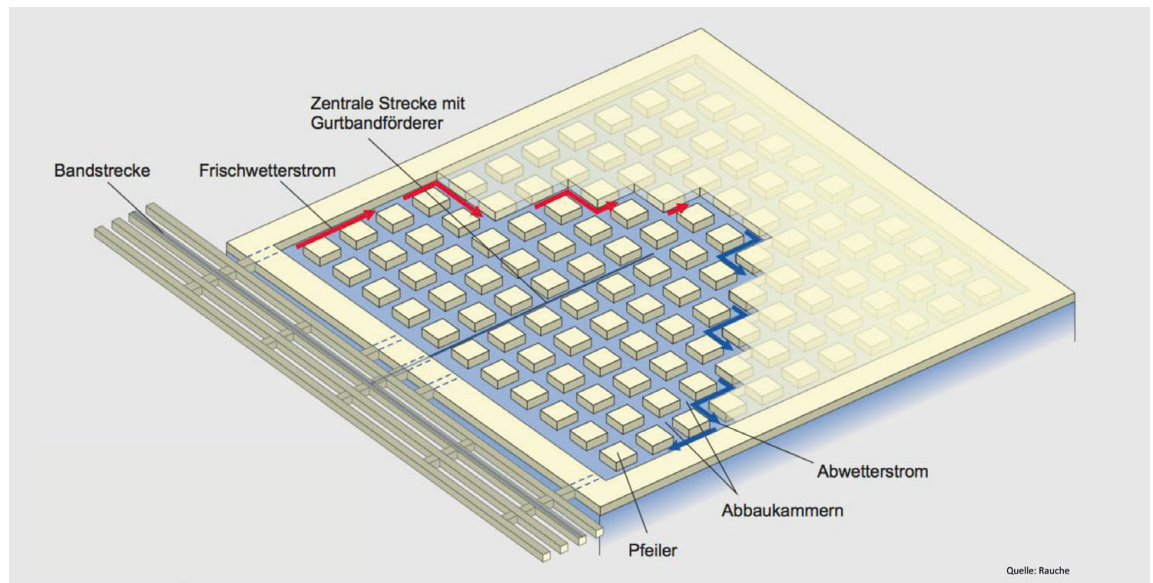


Bild 11: Idealisierte Wetterführung in einem Kippstellenbereich im Örter-Festen-Bau mit quadratischen Festen [9]

be der K+S Gruppe daraufhin untersucht, inwieweit je nach örtlichen und betrieblichen Gegebenheiten gewisse Wettermengensteigerungen möglich sind (**Bild 10**).

Im Bergbau gibt es bereits zahlreiche Systeme, die eine bedarfsgerechte Wettermengensteuerung erlauben (ventilation on demand). Deren Effektivität ist besonders hoch, wenn kleine Strömungsquerschnitte mit hohen Druckverlusten vorliegen, die in den Abbaubereichen des Kali- und Steinsalzbergbaus der K+S Gruppe nicht anzutreffen sind. Daher richten sich die Optimierungsmaßnahmen im Bereich der Wetterführung insbesondere auf eine noch strikere Trennung der Frisch- und Abwetterströme zur Reduzierung wettertechnischer Verluste und Vorbelastungen z. B. durch unbeabsichtigte Vermischung frischer und verbrauchter Wetter.

Weiterhin wird derzeit die Revierwetterführung sehr intensiv daraufhin optimiert, dass eine schnellere Abführung der gas- und partikelförmigen Immissionen z. B. durch bessere Kanalisierung erzielt werden kann. **Bild 11** zeigt die idealisierte Wetterführung in einem Kippstellenbereich des Kalibergbaus der flachen Lagerung. Die wesentlichen Einflussgrößen auf die Qualität der Wetter im untertägigen Bergbau sind:

- ▶ Frisch- und Abwetter
 - ▷ Verluste
 - ▷ Vorbelastungen
- ▶ Sprengschwaden/Dieselmotoremissionen
 - ▷ Auswettern
 - ▷ Verdünnen
- ▶ Organisation
 - ▷ Ausbildung
 - ▷ Verantwortlichkeiten

Für die zukünftig erforderliche noch bessere Annäherung an den bestmöglichen Zustand sind umfangreiche organisatorische und technische Maßnahmen zu entwi-

ckeln und umzusetzen. Zur erfolgreichen Umsetzung erhöhter Aufwendungen in der Revierbewetterung wird zusätzlich zu den technischen und organisatorischen Veränderungen ein höheres Niveau der Qualifikation und Qualitätssicherung in der Revierbewetterung erforderlich sein.

Für die Messung der gasförmigen Bestandteile der Grubenwetter in den zukünftig relevanten sehr niedrigen Konzentrationsbereichen mussten geeignete Messgeräte und Sensoren erst einmal entwickelt werden. Die K+S Gruppe hat für eigene Messeinsätze und zur Überprüfung der neuen Messgerätegeneration ein hochwertiges Massenspektrometer und weitere Messgeräte beschafft. Diese werden seit 2016 u. a. im Rahmen folgender Messprogramme unter Tage eingesetzt:

- ▶ Erprobung der neuen mobilen Messtechnik und Sensoren auf Eignung für die Freigabe der Arbeitsbereiche
- ▶ Technisches Limit der Emissionen/Expositionen in einem Revier mit mobilen Maschinen der Kategorien TIER IV interim/final
- ▶ „Wahre“ Emissionen von Dieselfahrladern TIER IV final in einem Blindort
- ▶ Haufwerksausgasung von Sprengschwaden in einem Blindort u. a. mit Einsatz von Elektrofhrladern
- ▶ Optimierung der Revierwetterführung, Vermeidung von Kreisläufen

Zukünftig könnte auch die Restausgasung des gesprengten Haufwerks relevant für die Expositionen sein. Das Prinzip der Messanordnung für die Ermittlung der Haufwerksausgasung ist im **Bild 12** dargestellt. Die bisherigen Erkenntnisse zeigen, dass die Haufwerksausgasung beim Laden eher CO freisetzt als NO_x. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass die Stickoxide oberflächenaktiv sind und sich am Rohsalz anlagern, darüber hinaus geht NO₂ mit dem Wasserdampfanteil der

Sprengschwaden in Lösung. Die grundlegenden Prozesse der Gasphasenchemie wurden von einem seitens K+S beauftragten Institut untersucht und mathematisch modelliert [10].

Mit den in diesen Versuchsreihen und Projekten gewonnenen Erkenntnissen werden die Prioritäten für die technischen und organisatorischen Maßnahmen im Projekt K+S Arbeitsplatzgrenzwerte festgelegt, um die bestmögliche Effektivität bei der Umsetzung erreichen zu können.

4.3 Sprengschwaden

Hinsichtlich der Sprengstoffe für den untertägigen Bergbau wird bei K+S seit Längerem intensiv an der Weiterentwicklung und Erprobung emissionsarmer Sprengstoffe gearbeitet, wobei der Minderung der gasförmigen Komponenten CO, NO und NO₂ besondere Bedeutung zukommt. Der untertägige Kalibergbau in Deutschland ist u. a. aufgrund der lagerstättenbedingten Gasgefährdung durch CO₂ und der komplexen geologischen Bedingungen in den meisten Bergwerken auf die Gewinnung mit Bohr- und Sprengarbeit beschränkt. Andere Gewinnungsverfahren, wie schneidende Lösetechnik, sind aus Sicherheitsgründen in gasausbruchgefährdeten Gruben der K+S Gruppe nicht anwendbar. Insofern stellt die Bohr- und Sprengtechnik nach wie vor den Kernprozess der bergbaulichen Gewinnung bei K+S dar (**Bild 13**).

Das Unternehmen MSW-Chemie GmbH – das Sprengstoffwerk der K+S Gruppe – versorgt die Grubenbetriebe mit den benötigten Mengen an ANC-Sprengstoff mit dem Handelsnamen Anxex LD, der in der sprengtechnischen Gewinnung hauptsächlich zur Anwendung kommt. Anxex LD ist eine Weiterentwicklung der früher bekannten Sprengstoffe Anxex, Anxex 1 und Anxex 2000 und bezüglich der Zusammensetzung der Sprengschwaden bzw. der erzielbaren Auswerterzeiten in hohem Maße optimiert. Sprengstoffe, die auf Ammoniumnitrat als Sauerstoffträger basieren, emittieren aufgrund der typischerweise nicht idealen Umsetzung als Hauptkomponenten, wie schematisch für gasförmige Reaktionsprodukte von ANC-Sprengstoffen im **Bild 14** dargestellt ist, neben Stickstoff, Wasserdampf und Sauerstoff auch Stickoxide und Kohlenstoffoxide.

Im **Bild 15** sind die im Sprengtunnel der MSW-Chemie GmbH ermittelten Werte der Stickoxide in den Sprengschwaden für Anxex 1, für den aktuellen Standard Anxex LD und für einen von MSW-Chemie GmbH entwickelten neuen emissionsarmen Sprengstoff – hier als Grandex benannt – dargestellt. Es wird deutlich, dass nach der erheblichen Reduzierung der Stickoxide mit Übergang auf Anxex LD eine weitere nennenswerte Reduzierung der Emissionen über den Sprengstoffeinsatz möglich erscheint, welche im Rahmen der untertägigen Erprobung zu verifizieren waren. Auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus dem Sprengtunnel der MSW-Chemie GmbH zur Schwa-

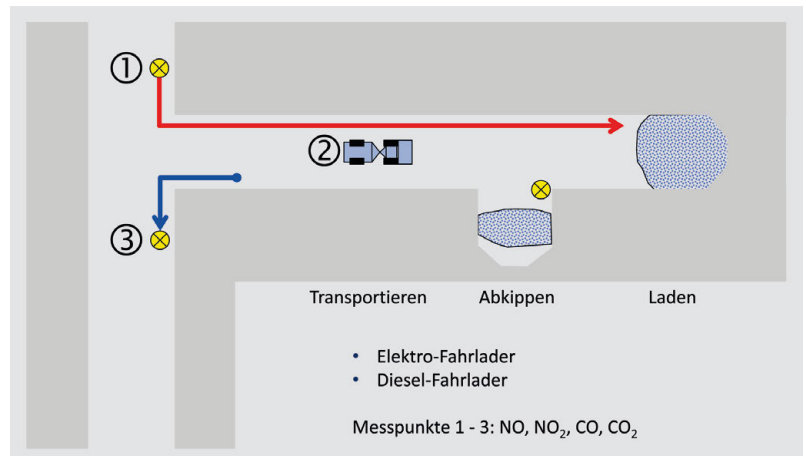


Bild 12: Prinzip der Messanordnung zur Ermittlung der Haufwerksausgasung (Draufsicht)



Bild 13: Bohren und Sprengen – Kernprozess in der bergbaulichen Gewinnung bei K+S

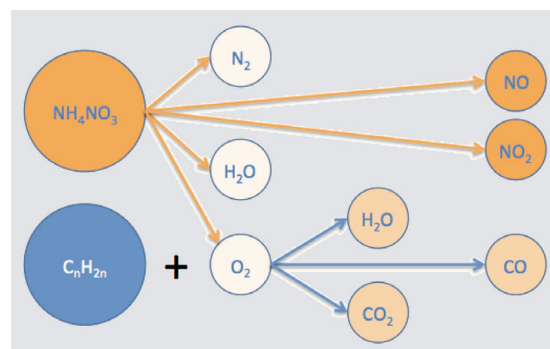


Bild 14: Gasförmige Reaktionsprodukte von ANC-Sprengstoffen bei nicht idealer Umsetzung in Anlehnung an [11]

denzusammensetzung von ANC-Sprengstoffen auf die Verhältnisse bei K+S unter Tage wird in [12] eingegangen. Neben der Zusammensetzung der Sprengschwaden beim Einsatz unter Tage wird auch das reale Arbeitsvermögen des neuen Sprengstoffs bestimmt. Die Dichte ist herstellungsbedingt geringer als bei Anxex LD, was bei gleichem Bohrlochdurchmesser zu einer geringeren Sprengwirkung führen könnte. Im Falle der erfolgreichen Erprobung sind daher ggf. Anpassungen der Bohr- und Sprengschemata bzw. des Bohrlochdurchmessers erforderlich. Im **Bild 16** sind die Messwerte der Schwadenmessungen mit Grandex im Technikumsmaßstab

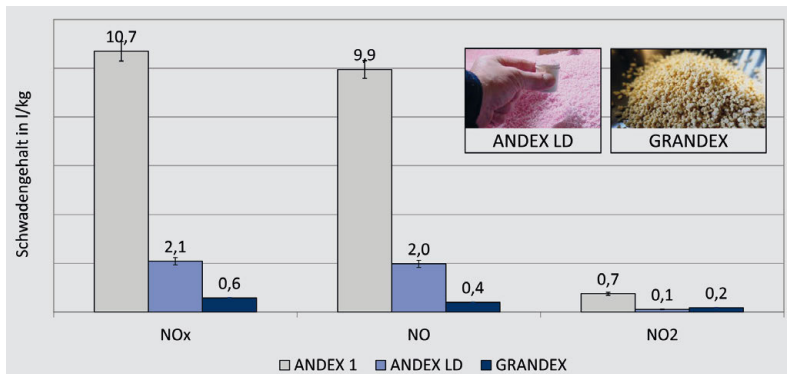


Bild 15: Stickoxide in Sprengschwaden verschiedener Sprengstoffe, ermittelt im Sprengtunnel der MSW-Chemie GmbH

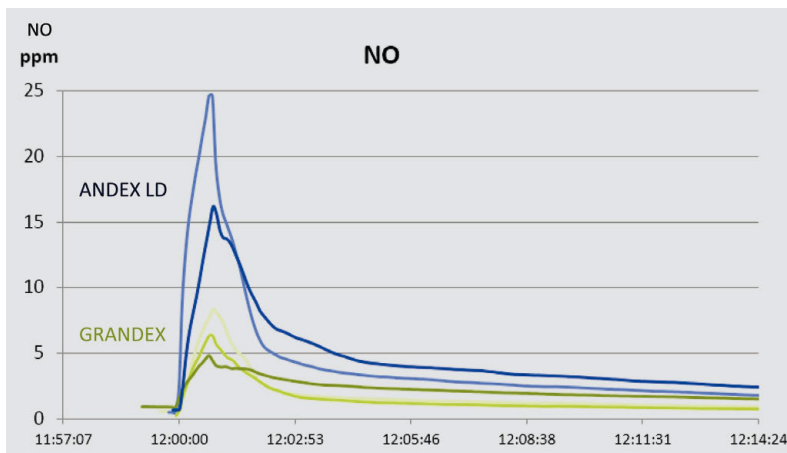


Bild 16: Sprengschwadenmessungen mit Analex LD und Grandex unter Tage im Technikumsmaßstab

unter Tage dargestellt, wobei die Minderung der Emission von Stickstoffmonoxid (NO) klar erkennbar ist.

Die großtechnische Herstellung von Grandex erfordert im Vergleich zu Analex LD höhere Aufwendungen bezüglich der Anlagentechnik, des Energieeinsatzes, des Staubexplosionsschutzes und der Logistik. Die technische und wirtschaftliche Machbarkeit ist derzeit in Prüfung.

K+S hat in der jüngeren Vergangenheit wiederholt verschiedene Emulsionssprengstoffe mit Anwendung der Mischladetechnologie in den eigenen Bergwerken erprobt. Vor dem Hintergrund der aktuellen auch technischen neuen Entwicklungen wurden von K+S in 2017 im Grubenbetrieb Neuhof-Ellers erneut Sprengversuche mit Schwadenmessungen durchgeführt. Dazu wurden in einer typischen Abbaustrecke mit standardisierter, reproduzierbarer Wetterführung und Anordnung der Probenahme für die Schwadenmessungen ganze Abschlüsse mit dem auch für Analex LD verwendeten Sprengschema geladen und gesprengt (**Bilder 17 und 18**). Anders als im Tunnel- oder Erzbergbau ist es bei K+S technisch meist nicht erforderlich, hohe Ladedichten einzustellen. Mit Einsatz einer Schlauchrückzugseinrichtung (hose pusher) konnte die Dichte auf Werte deutlich unter 900 kg/m³ eingestellt werden. Dabei war die Kapselempfindlichkeit durchweg gegeben.

Die Ergebnisse bestätigten mit hinreichender statistischer Absicherung, dass unter den gewählten Bedingungen die in Frage stehenden Schwadenkonzentrationen sehr deutlich unter denen von Analex LD liegen. Das Sprengergebnis war auch bezüglich der Löseleistung und der Fragmentierung einwandfrei mit



Bild 17: Einsatz von Emulsionssprengstoff mit Mischladetechnologie im Kalibergwerk Neuhof-Ellers

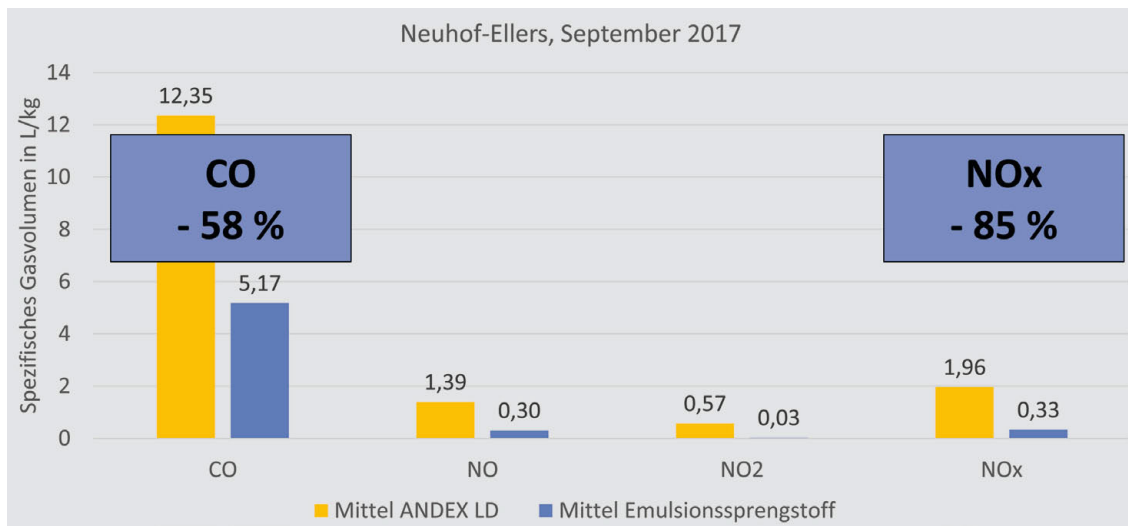


Bild 18: Vergleich der mittleren spezifischen Gasvolumina der Sprengschwaden von An dex LD und einem Emulsi onssprengstoff bei Erprobung im Kalibergwerk Neuhof-Ellers

erkennbarem Potenzial zur Reduzierung der Anzahl der Sprengbohrlöcher. Im **Bild 18** ist die mittlere Reduktion der spezifischen Gasvolumina gegenüber An dex LD für Stickoxide mit 85 % und für CO mit 58 % dargestellt. Diese Ergebnisse sind unter ganz speziellen Versuchsbedingungen ermittelt worden und zeigen das grundsätzliche Potenzial emissionsarmer Sprengstoffe auf. Sie sind wegen der komplexen Verhältnisse im untertägigen Bergbau nicht grundsätzlich auf die mögliche Emissionsminderung in einem Gewinnungsbereich oder in einem ganzen Bergwerk übertragbar. Durch Nichtbeachtung bergbauspezifischer Umstände, Einsatz ungeeigneter Messtechnik und Einengung auf Ergebnisse von Stichprobenmessungen sowie andere Fehler kommt es, wie auch jüngste Erfahrungen zeigen, immer wieder zu falschen Einschätzungen der Gesamtsituation mit entsprechenden Auswirkungen auch in der öffentlichen Diskussion.

Ob und in welchem Maße der Einsatz emissionsarmer Sprengstoffe im Örter-Festen-Bau der flachen

Lagerung im Kalibergbau zur Einhaltung der zukünftig geltenden AGW beitragen kann, wurde von K+S Ende 2018 im Versuchsrevier Hattorf-Wintershall des Kalibergwerks Werra ermittelt. In diesem aufwendig ausgestatteten und dennoch unvermindert in der Produktion stehenden Versuchsrevier werden auch die anderen bereits genannten technischen Pfeiler des K+S-Maßnahmenpakets umgesetzt, die im **Bild 1** dargestellt sind.

Letztlich soll gemäß **Bild 19** exemplarisch die Kernfrage beantwortet werden, ob unter den lokalen Bedingungen bei Einsatz der besten verfügbaren Antriebstechnik der mobilen Maschinen und Fahrzeuge mit Implementierung der besten verfügbaren Wetterführung die zukünftigen AGW eingehalten werden können oder ob und ggf. in welchem Ausmaß auch ein Beitrag durch emissionsarme Sprengstoffe erforderlich ist.

Dazu wurde im Versuchsrevier im November 2018 über einen Zeitraum von vier Wochen im dreischichtigen Betrieb durchgehend Emulsionssprengstoff mit Mischladetechnologie verwendet. Zu den rechtlichen

Versuchsrevier Werra mit bester verfügbarer Motoren- und Wettertechnik, ANDEX LD vs. Emulsionssprengstoff revierweit

- AGW eingehalten
 - ⇒ ANDEX LD
 - ⇒ Optimierter ANFO-Sprengstoff
- Zusätzliche Emissionsminderung erforderlich
 - ⇒ GRANDEX
 - ⇒ Emulsionssprengstoff

Ggf. auch teil- bzw. bedarfsweise

Bild 19: Versuchsrevier Werra, Hattorf-Wintershall, Kernfrage und mögliche Konsequenzen

Tabelle 1: Gesundheitsstudie – Projektpartner und deren Aufgaben

Institutionen	Rolle
Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI)	Projektsteuerung
Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IPA)	medizinisch-wissenschaftliche Leitung
Institut für Gefahrstoff-Forschung der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IGF)	Expositionsmessungen
K+S Technical Center, K+S Kali GmbH, Werksärzte und Arbeitsmedizinischer Dienst	Organisation, Durchführung

Voraussetzungen gehören u. a. die Betriebsplanzulassungen für den Einsatz an sich und für einen bergbe-
hördlich anerkannten K+S-Lehrgang, in dem eine hin-
reichende Anzahl von K+S-Sprengberechtigten und
Sprengberechtigten des Projektpartners befähigt wur-
de, im Bergbau unter Tage das Herstellen von Emulsi-
onssprengstoffen ausführen zu dürfen.

Die umfangreichen organisatorischen, logistischen
und technischen Vorbereitungen wurden im Oktober
2018 abgeschlossen. Wiederum kamen bedarfsweise
Schlauchrückzugseinrichtungen (hose-pusher) an den
Mischladegeräten zum Einsatz, damit die Dichte des
Emulsionssprengstoffs optimal auf die für Salzgesteine
geeignete Enddichte eingestellt werden kann. Über die
Ergebnisse dieses Einsatzes und die daraus abgeleiteten
Erkenntnisse wird 2019 zu berichten sein.

Wie im Bergbau und in der Sprengstoffindustrie
bekannt, würde bei entsprechendem Bedarf der zusätz-
lichen Emissionsminderung die Einführung geeigneter
Sprengstoffe und Sprengtechnologien neben den finan-
ziellen Aufwendungen eine sehr sorgfältige Planung,
Vorbereitung und vor allem genügend Zeit erfordern.
Daher hat sich K+S zum Ziel gesetzt, die Grundsatz-
entscheidung hierzu zeitnah zu treffen.

4.4 Gesundheitsstudie

Vor dem Hintergrund der Tatsache, dass bisher durch-
geführte arbeitsmedizinische Studien mit Beschäftigten
unter Tage rar und systembedingt von geringer Aussa-
gekraft hinsichtlich der Einzeleffekte der Exposition
gegenüber NO und NO₂ sind, hat K+S die Durchfüh-
rung einer Gesundheitsstudie veranlasst. Diese wird
mit eingehenderer Überwachung der Expositionen und
gesundheitlichen Effekte das Grundlagenwissen verbes-
sern.

Vorab ist festzustellen, dass für Stickoxide bisher
keine aussagekräftigen Biomarker bekannt sind und
die Absorption nach der Einatmung sehr schnell er-
folgt. Für die partikelförmigen Dieselmotoremissionen
können polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
(PAK) als Marker genutzt werden.

Das Ziel der Gesundheitsstudie ist die Beantwor-
tung der Frage, ob Expositionen gegenüber Stick-
stoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂), Koh-
lenstoffmonoxid (CO) und Dieselmotoremissionen
(EC-DME), denen Beschäftigte im Kali- und Stein-

salzbergbau ausgesetzt sind und die direkt und über
Biomarker gemessen werden können, im Zusammen-
hang zu Indikatoren akuter und chronischer gesund-
heitlicher Effekte stehen. Dazu werden die Effekte von
unterschiedlichen Expositionen (hohe, mittlere und
keine) auf die Indikatoren bei Beschäftigten verglichen.
Zur statistischen Absicherung ist eine große Stichpro-
be von ca. 1.250 Personen erforderlich. Die entspre-
chenden medizinischen Untersuchungen erfolgen vor
und nach der Exposition bzw. Schicht. Die freiwilligen
Probanden werden mit personenbezogenen Messgerä-
ten bzw. Sammlern für die Expositionsmessungen von
Gasen und Stäuben ausgestattet und die jeweiligen Ar-
beitsbereiche dokumentiert. Das seitens der BG RCI in
Auftrag gegebene Studienprotokoll wurde Mitte 2016
fertiggestellt und beschreibt im Detail die Ziele und die
dafür erforderlichen Maßnahmen [13].

Darüber hinaus verbessert K+S zukünftig die Über-
wachung der gesundheitlichen Effekte durch Erweite-
rung der regelmäßigen jährlichen medizinischen Unter-
suchungen. Dazu werden eine erweiterte Erfassung von
Symptomen im Rahmen der ärztlichen arbeitsmedizini-
schen Untersuchung sowie zusätzliche Untersuchungen
durchgeführt, z. B. EKG, Ultraschall, Spirometrie und
Ganzkörperplethysmographie. Relevante Biomarker
können im Serum und im Urin erfasst werden.

Der Übergangszeitraum bis zur Anwendung der
neuen AGW im Bergbau soll auch genutzt werden, um
mit der Gesundheitsstudie die Abwesenheit adverser
Effekte nachzuweisen. Die in **Tabelle 1** genannten In-
stitutionen sind maßgeblich an der Durchführung be-
teiligt.

Der erste Teil der Gesundheitsstudie wurde Anfang
2018 im Werk Zielitz mit sehr guter Beteiligung der Be-
schäftigten erfolgreich abgeschlossen, die Fortsetzung
folgte im Werk Werra der K+S Kali GmbH. Derzeit
erfolgt die Aus- und Bewertung bzw. Interpretation.

Darüber hinaus hat K+S Anfang 2017 die Förde-
rung einer neuen Stiftungsprofessur an der Privaten
Universität Witten/Herdecke auf dem Gebiet der Ar-
beitsmedizin und dem Betrieblichen Gesundheitsma-
nagement übernommen. Vor dem Hintergrund aktu-
eller und künftiger Arbeitsplatzanforderungen reichen
traditionelle betriebsärztliche Konzepte nicht mehr aus
und erfordern die universitäre, interdisziplinäre Ein-
bindung und Entwicklung eines zeitgemäßen Gesund-
heitsmanagements sowie die Mitarbeit an Forschungs-
und Entwicklungsthemen. Die Stiftungsprofessur soll
die Forschung in den Gebieten Arbeitsmedizin und
Betrieblichem Gesundheitsmanagement intensivie-
ren, Synergien in Forschung und Lehre schaffen sowie
die Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse in die
betriebliche Praxis in der Industrie und im Bergbau
fördern. Die Schwerpunkte der Professur beinhalten
alle Aspekte eines zeitgemäßen Betrieblichen Gesund-
heitsmanagements. Es sollen die Herausforderungen
der Arbeitswelt 4.0 unter Berücksichtigung alternder
Belegschaften, Inklusion, Diversität, Multijobbing und
prekärer Beschäftigung aufgegriffen werden [14].

5 Projektorganisation und Zeitplan

K+S-intern wurde das Projekt Arbeitsplatzgrenzwerte frühzeitig und vorausschauend auf Vorstandsebene beschlossen, zur Durchführung wurden die neun im **Bild 20** dargestellten Arbeitspakete eingerichtet. Die Projektleitung nimmt der Bereich Bergbau des K+S Technical Centers wahr, der Lenkungsreis erhält regelmäßige Fortschrittsberichte und bei Bedarf die entsprechenden Entscheidungsvorlagen, somit sind kurze und effiziente Entscheidungswege möglich.

Seit 2017 wird bei K+S jährlich der Marktplatz Arbeitsplatzgrenzwerte durchgeführt, bei dem die Leiter der Arbeitspakete den Stand und das weitere Vorgehen präsentieren, gefolgt von einer offenen Diskussionsrunde. Teilnehmer sind u. a. Mitarbeiter der Bergbehörden, Mitglieder der zuständigen Gremien, Mitarbeiter der beteiligten Institute der DGUV und BGRCI sowie der Branchenverbände VKS und VRB, Betriebsräte, Mitglieder der Geschäftsführungen und Produktionsleitung der K+S-Werke sowie Mitglieder der Arbeitsgruppen.

Der Zeitplan für sämtliche in diesem Zusammenhang stehenden Maßnahmen richtet sich vorrangig nach der Übergangsfrist, die mit der Inkraftsetzung der neuen Arbeitsplatzgrenzwerte für Stickoxide für den Bergbau begonnen hat. Diesbezüglich ist als Zeitpunkt für den Zwischenbericht im zuständigen Gremium AGS (Ausschuss für Gefahrstoffe bei BMAS) das Jahr 2019 und für die Zielerreichung der Herbst 2021 einzuordnen (**Bild 21**).

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die K+S Gruppe steht nach dem Beschluss der in Deutschland ab November 2021 anzuwendenden Arbeitsplatzgrenzwerte für Stickoxide im Hinblick auf deren Einhaltung in den Grubenbetrieben vor großen Herausforderungen. Hinzu kommen weitere Verschärfungen der Arbeitsplatzgrenzwerte für Kohlenstoff-

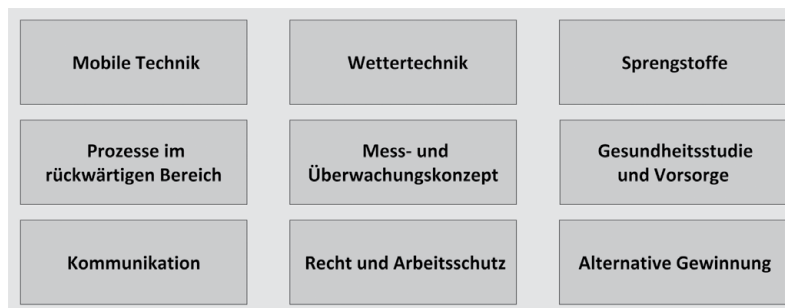


Bild 20: Arbeitspakete im K+S Projekt Arbeitsplatzgrenzwerte

monoxid und partikelförmige Dieselmotoremissionen. Ziel ist es, alle möglichen Anstrengungen zu unternehmen, um die gesetzlichen Vorgaben für Stickoxide in der für den Bergbau gültigen Übergangsfrist von fünf Jahren zu erfüllen und somit auch zukünftig den Gesundheitsschutz der Beschäftigten gemäß den gesetzlichen Vorgaben zu gewährleisten.

Neben der Emissionsminderung durch forcierte Einführung modernster Dieselmotoren, insbesondere der Kategorien TIER IV final bzw. EURO 6, wird der Einsatz von Elektroantrieben für mobile Arbeitsmaschinen und Fahrzeuge erprobt und zukünftig eine größere Rolle spielen. Die Möglichkeiten zur Optimierung der Wetterführung unter Tage werden untersucht und weiter vorangetrieben, damit die betriebsbedingten Immissionen durch sprengtechnische Gewinnung und Einsatz von Dieselmotoren noch effektiver und schneller abgeführt werden können. Neue emissionsarme Sprengstoffe werden weiterentwickelt, in der Praxis erprobt und bei Erfolg bedarfsorientiert eingeführt. Die Prozesse unter Tage werden weiter optimiert, um die Emissionen und Expositionen zu reduzieren. Das Mess- und Überwachungskonzept der K+S Gruppe für die Grubenbetriebe wird mit dem Ziel angepasst, die zukünftige Einhaltung der Arbeitsplatzgrenzwerte sicher zu gewährleisten. Schließlich wird die im Bergbau etablierte systematische intensive arbeitsmedizinische

	Dieselmotoremissionen	Wetterführung	Sprengschwaden	Arbeitsmedizin	Bemerkung
2016	Entwicklung neue mobile Maschinen	Grundlagenversuche Neue Messtechnik	Erprobung und Weiterentwicklung emissionsarmer Sprengstoffe	Studienprotokoll Gesundheitsstudie	Änderung TRGS 900
2017	Einführung TIER VI final, EURO 6 durch Ersatz / Rebuild	Versuchsrevier	Versuchsrevier	Med. Untersuchungen und Expositionsmessungen WE-HW und ZI	EC-DME
2018					
2019	Erprobung und Einführung Elektrofahrzeuge und -antriebe unter Tage	Optimierung Wetterführung	Konzeption neue Sprengstoffherstellung und -logistik	Ausbau der medizinischen Vorsorge	Bericht im AGS
2020		Umstellung mobile Messtechnik			
2021					Ablauf Übergangsfrist für den Bergbau
...					

Bild 21: Zeitplan und Maßnahmenpakete im K+S-Projekt Arbeitsplatzgrenzwerte

Vorsorge auf hohem Niveau verdichtet und eine Stiftungsprofessur für Arbeitsmedizin und Betriebliches Gesundheitsmanagement gefördert.

Die K+S Gesundheitsstudie trägt dazu bei, das Grundlagenwissen zu den gesundheitlichen Effekten zu erweitern.

7 Literaturverzeichnis

- Dieser Beitrag wurde bereits in der Zeitschrift Sprenginfo veröffentlicht:
- Triebel, R.: Neue Anforderungen für den Bergbau aus der aktuellen Grenzwertdiskussion. Sprenginfo 40 (2018), Nr. 3, S. 14-26.
- [1] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (GefStoffV).
 - [2] Lotz, G.; Kersten, N.: Dosis-Wirkungsbeziehungen von Exposition und Lungenfunktion bei Kalibergarbeitern – vergleichende Auswertung einer Längsschnittstudie im linearen und gemischten Modell. Zbl Arbeitsmed 62. 2012, S.304-318.
 - [3] Brand, P., et al.: Biological effects of inhaled nitrogen dioxide in healthy human subjects. Int Arch Occup Environ Health. 7. Mai 2016, Bde. DOI 10.1007/s00420-016-1139-1.
 - [4] baua (2018): TRGS 900 - Arbeitsplatzgrenzwerte. Ausgabe Januar 2006. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. 2018, Bde. BARBl Heft 1/2006, S.41-55, geändert und ergänzt: GMBI 2018 S. 542-545 [Nr.28] (v. 07.06.2018).
 - [5] Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 900.
 - [6] Monz, C.: Bericht über orientierende Gefahrstoffmessungen in untertägigen Arbeitsbereichen bei der K+S KALI GmbH, Werk Zielitz. IGF - Institut für Gefahrstoff-Forschung der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie. Bochum : s.n., 2015. Unveröffentlicht.
 - [7] Giesen, J.: Bericht über orientierende Gefahrstoffmessungen in untertägigen Arbeitsbereichen bei der K+S KALI GmbH, Werk Werra, Grube Hattorf/Wintershall. IGF - Institut für Gefahrstoff-Forschung der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie. Bochum : s.n., 2015. Unveröffentlicht.

- [8] Kübler, G.; Triebel, R.; Knappe, M.: Neue Anforderungen aus der Grenzwertdiskussion zu Stickoxiden NOx. [Hrsg.] Verband der Kali- und Salzindustrie e. V. Kali und Steinsalz. 2016, 2, S.7-17.
- [9] Rauche, H.: Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert. Berlin, Heidelberg : Springer Vieweg, 2015. ISBN 978-3-662-46834-0.
- [10] Neff, A.; Abel, B.: Modellierung von Stickoxidkonzentrationen in Salzgruben. Leipzig : IOM - Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung e. V., 2017. Unveröffentlicht.
- [11] Breidung, K.-P.: Im Mittelpunkt Sprengstoff - Vom Miedziaknit zum ANDEX 2000. Langelsheim: MSW-CHEMIE GmbH, 1999. S. 93.
- [12] Elfferding, M.; Triebel, R.; Wachsmuth, U.: Gasförmige Emissionen des Sprengstoffs ANDEX LD - welche sind die tatsächlichen Werte in untertägigen Anwendungen? Kali und Steinsalz. 2018, 01, S. 32-41.
- [13] Birk, T., et al. (2016): Epidemiologische Studie zu gesundheitlichen Effekten bei untertage Beschäftigten mit Exposition gegenüber Dieselmotorabgasen und Sprenggasen (Stickstoffoxide). Ramboll Environ Germany GmbH. Frankfurt am Main: Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI), Heidelberg, 2016. Studienprotokoll. Unveröffentlicht. DE12 BGR002.
- [14] K+S Aktiengesellschaft, Private Universität Witten/Herdecke. 2017. [Online] 24. Januar 2017. [Zitat vom: 28. Oktober 2018.] <http://www.k-plus-s.com/de/data/news/pdf/presse-170123.pdf>.

Dr.-Ing. Rüdiger Triebel

ist Referatsleiter Bergbau der K+S Aktiengesellschaft, Kassel, Deutschland, und Geschäftsführer der MSW-CHEMIE GmbH, Langelsheim, Deutschland.

Kontakt:

ruediger.triebel@k-plus-s.com

Dokumentation der technischen Entwicklung bei der RAG



- 1: Technikentwicklung und Forschung bei der RAG
- 2: Technikentwicklung im Abbau*
- 3: Technikentwicklung in der Vorleistung*
- 4: Technikentwicklung in der Logistik*
- 5: Technikentwicklung in der Grubensicherheit – Band 1* / Band 2
- 6: Management- und Bildungssysteme für technische Prozesse*
- 7: Entwicklung des Markscheidewesens – Planung und Gewinnung
- 8: Entwicklung des Markscheidewesens – Auswirkungen und Bergbaufolgen

* bereits im GeoResources Verlag erschienen

Weitere Informationen und Bestellung:

<https://www.georesources.net/index.php/publications> oder vertrieb@georesources.net

NEU

Führen in digitalen Zeiten

Dipl.-Ing. Claus Pels-Leusden, Düsseldorf, Deutschland

Die Digitalisierung hat im Bergbau Einzug gehalten, und, auch wenn die digitale Transformation im Bergbau im Vergleich zu anderen Wirtschaftszweigen noch in den Startlöchern verortet wird, bedarf es heute Strategien, wie dieser Prozess zu gestalten ist.

Chancen und Risiken der Digitalisierung müssen erkannt werden, und Informationen sind derart nutzbar zu machen, dass sie nachhaltig den Kundennutzen für die Organisation steigern. Es geht darum, die richtigen Dinge zu tun und die Dinge richtig zu machen. Es stellen sich zunächst die Fragen, „was“ zu unternehmen ist und „wann“, bevor das „wie“ geklärt wird. Die diesjährige bauma bot die Möglichkeit, Unternehmen der Bergbauzulieferindustrie mit einem qualifizierten Fragenkatalog zu diesem Thema zu interviewen, um einen Eindruck zu gewinnen, wie weit die deutschen Bergbauzulieferer sich in den vier Komponenten von Führung und Innovation im digitalen Zeitalter entwickelt haben (Bild 1). Auf die spezifischen Rahmenbedingungen in Deutschland wird ebenfalls eingegangen.

Ziel ist das Bergwerk der Zukunft, „nicht nur digital vernetzt, sondern flexibel und selektiv, vorausschauend und dynamisch, anpassungsfähig sowie robust und zuverlässig“, so beschreibt Professor Clausen der RWTH Aachen zum Thema „Digitalisierung als Chance für den Bergbau?“ in der letzten Ausgabe von GeoResources Zeitschrift die Herausforderungen [2]. Hier gilt es insbesondere für die Bergbauzulieferindustrie, adäquate Lösungen zu entwickeln.

Die deutsche Bergbauzulieferindustrie hat in den vergangenen Jahrzehnten einen Transformationsprozess durchlaufen, um wegbrechende deutsche Kunden durch Absatzmärkte weltweit zu ersetzen. Diese Internationalisierung ist den meist mittelständisch organisierten Bergbauzulieferern gelungen, und die Exportraten liegen heute in der Regel bei deutlich über 50 %.

Aber sind die traditionellen deutschen Bergbauzulieferer auch „im Kopf“ bereit, die Komplexität der exponentiell steigenden Datenvolumen und häufig damit einhergehenden disruptiven Entwicklungen zu bewältigen? Dabei ist die Ausgangslage in Deutschland noch eine besondere, zum einen hinsichtlich der Sandwichposition und zum anderen hinsichtlich der Alterspyramide.

Der deutsche Mittelstand befindet sich in einer schwierigen Sandwichposition: Von unten von Billiganbietern und von oben durch neue Geschäftsmodelle attackiert müssen die Unternehmer sich ihren eigenen Weg bahnen. Hinzu kommt, dass fast ein Drittel der Beschäftigten in den kommenden 10 Jahren aus dem aktiven Arbeitsleben ausscheiden wird und in der mittelständischen traditionellen Bergbauzulieferindustrie

Dieser Artikel erläutert eine exemplarische Umfrage zum Stand der Digitalisierung in deutschen Bergbauzulieferunternehmen und ihrer Personalstrategie zur Lösung der damit verbundenen Aufgaben. Die Umfrageergebnisse werden erläutert und bewertet. Der abschließende Ausblick zeigt zukünftige Herausforderungen für die Zusammenarbeit sowie die Personalführung und -entwicklung in den Unternehmen auf.

Bergbau • Zulieferer • Digitalisierung • Geschäftsmodelle • Personalführung • Personalentwicklung



Bild 1: Vier Komponenten von Führung und Innovation in Zeiten der Digitalisierung, Studie des VDMA [1]

trie dürfte diese Zahl noch höher liegen. Damit fällt dem demografieorientierten Personalmanagement in Deutschland eine besondere Rolle zu, die sich von der Situation in den Regionen der meisten Kunden und Wettbewerber deutlich unterscheidet. Dabei sind die typischen Eigenheiten der Generationen zu berücksichtigen, insbesondere die Motivationsunterschiede zu beachten, um disruptive Entwicklungen zu vermeiden.

Es geht darum, die Fähigkeiten im Erkennen, Ergreifen und Rekonfigurieren zu stärken (Bild 2). Dazu bedarf es einer Führung, die den Besonderheiten der Herausforderungen angepasst wird.

Sechs Thesen zur Diskussion

Der Bundesverband Deutscher Unternehmensberater BDU e.V. hat in seinem Positionspapier zum Thema „Führen in digitalen Zeiten“ sechs Thesen entwickelt (Bild 3). Zu diesen wurden zwölf Bergbauzulieferbetriebe auf der bauma befragt und die Ergebnisse im Fol-



Bild 2: Fähigkeit zur Geschäftsmodellinnovation, Studie des VDMA [1]

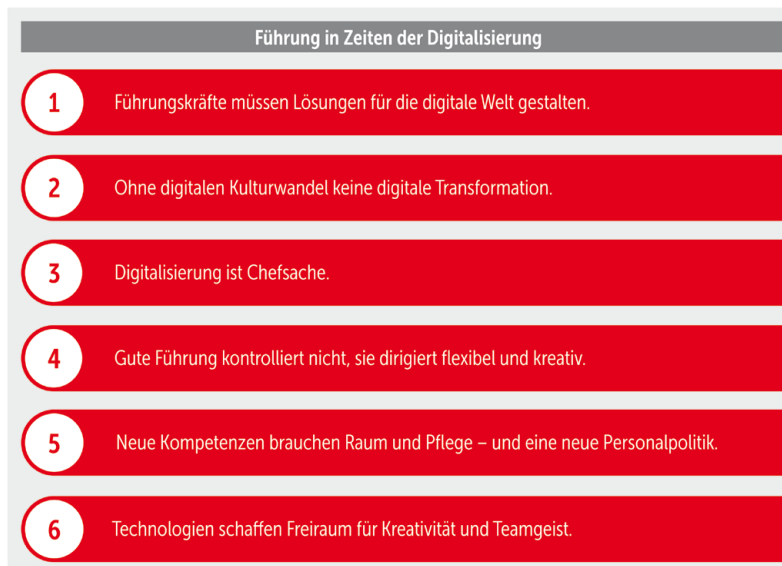


Bild 3: Führung in Zeiten der Digitalisierung, aus Positionen des BDU [3]

genden ausgewertet. Diese Unternehmen reichen vom Start-up-Unternehmen mit weniger als 50 Personen über den großen Mittelständler, der den internationalen Bergbau für seine Diversifikationsstrategie erkannt hat und sich nachhaltig seinen Marktanteil erkämpft, bis zum klassischen Zulieferer der deutschen Steinkohlenbergwerke, der sich zum Global Player entwickelt hat. Die Unternehmen beschäftigen gemeinsam über 16.000 Mitarbeiter und haben – bis auf zwei Ausnahmen – gemeinsam, dass der Exportanteil der Unternehmen jeweils bei über 50 % liegt, im Mittel bei 62 %.

These 1: Führungskräfte müssen Lösungen für die digitale Welt schaffen

Drei Viertel der befragten Unternehmen gaben an, eine digitale Strategie entwickelt zu haben. Während die meisten Unternehmen ihre Strategie auf die Bereiche Produktion und Service ausgerichtet haben, integrierte

verständlicherweise das Start-up-Unternehmen diese Strategie auf alle Unternehmensbereiche und alle Prozesse. In diesem Unternehmen sind alle Bereiche vernetzt, es gab nie ein Silodenken, welches es aufzubrechen gälte, es gibt nur neue Produkte und Geschäftsideen und wie selbstverständlich wird Tesla als Blaupause genutzt.

Hier zeigt sich der Vorteil junger Unternehmen: Alle Thesen werden im Folgenden wie selbstverständlich bestätigt. Dies belegt die Attraktivität solcher Start-ups als Partner etablierter Unternehmen, die unter Beibehaltung ihres klassischen Geschäftsmodells die Margen erwirtschaften müssen, um in neue Geschäftsmodelle investieren zu können. Diese Zweigleisigkeit der Transformation innerhalb eines Unternehmens wird Ambidextrie genannt und ist nicht einfach zu steuern [1]. Oft sind nämlich die neuen Geschäftsmodelle kannibalistisch für etablierte. Dies hat einen der interviewten Unternehmer dazu bewegt, sein angestammtes Unternehmen in Start-ups investieren zu lassen und sich gleichzeitig persönlich – unabhängig von seinem Unternehmen – an Start-ups zu beteiligen, die ausdrücklich kannibalistisch für sein altes Geschäftsmodell sein dürfen.

These 2: Ohne digitalen Kulturwandel keine digitale Transformation

Sieben Kernkompetenzen stehen stellvertretend für Dynamik und Geschwindigkeit in Märkten, Prozessen und Organisationen:

- Vernetztes Denken
- Flexibilität
- Agilität
- Lernbereitschaft
- Spontaneität
- Selbstmanagement
- Authentizität

Diese haben die interviewten Unternehmen nach Relevanz und nach dem Stand der Umsetzung gemäß

Schulnoten gewertet. Dabei haben sich die folgenden Tendenzen herauskristallisiert: Während die Relevanz mit zwei Ausnahmen einheitlich als sehr hoch beurteilt wurde, liegen die Bewertungen des eigenen Stands der Erreichung weiter auseinander. Alle Unternehmen gaben an, in den wesentlichen Punkten noch nicht die gesetzten Ziele erreicht zu haben. Auf der anderen Seite fällt auf, dass keines der Unternehmen sich schlechte Noten bescheinigt und nur wenige ausreichende. Eine Fünf oder eine Sechs gab es nur beim Thema „Authentizität“, da dieses als nicht relevant eingeschätzt wurde.

These 3: Digitalisierung ist Chefsache: Teilen Sie diese Einschätzung?

Wenn diese Frage auch von „nur“ 58 % der Befragten mit „Ja“ beantwortet wurde, so betonen doch alle, dass ohne die uneingeschränkte Unterstützung der Geschäftsleitung der Transformationsprozess nicht funktionieren kann. Die Digitalisierung ist weder eine Ressortaufgabe, noch kann sie von der Unternehmensführung delegiert werden. Das „was“ und „wann“ ist Chefsache, das „wie“ kann dagegen ein Chief Digital Officer entscheiden. Zentrale Fragen müssen und können nur von der Geschäftsleitung beantwortet werden, u. a.:

- ▶ Wie wird mit den Daten umgegangen?
- ▶ Wieviel Ermessensspielraum bei Entscheidungen wird zugelassen?
- ▶ Welchen Stellenwert hat die persönliche Betreuung der Kunden?
 - ▶ Wie wird diese optimal mit digitalen Prozessen kombiniert?

Es geht um die grundlegende Gestaltung und Strategie im Unternehmen und um die Frage, wie das Unternehmen von innen und außen wahrgenommen werden soll. Der weitaus größte Teil der befragten Unternehmen hat deutlich herausgestellt, dass Digitalisierung die gesamte Belegschaft betrifft, dass diese von allen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen getragen werden muss und von allen (vor-)gelebt werden sollte.

These 4: Gute Führung kontrolliert nicht, sie dirigiert flexibel und kreativ

Die Zeiten einsamer Kapitäne sind vorbei. Wir brauchen auch nicht nur Visionäre, sondern Manager, die in der Lage sind, ein Team aufzubauen, das fähig ist, eigene Ideen zu entwickeln und diese umzusetzen. Eine attraktive und förderliche Arbeitsumgebung wird zur Triebfeder für den Erfolg, Raum und Zeit lösen sich zunehmend auf: Mitarbeiter arbeiten, wann und wo es probat erscheint. Ergebnisse erhalten Vorfahrt vor Anwesenheitspflicht und „Nine-to-Five“ Mentalität.

Bei der Frage der drei Dimensionen – People, Place, Tools – zukünftiger Arbeit zeigte sich, dass alle Unternehmen an einer Abkehr von herkömmlicher zu netzwerk- und projektorientierter Organisation arbeiten,

daran, welche Freiheit hinsichtlich zeitlicher und räumlicher Dimension sie zulassen und welche technischen Mittel sie in den Mittelpunkt stellen wollen.

So beantworteten über 80 % die Frage nach alternativen Organisationsformen und zwei Drittel die Frage nach dem Wandel von Präsenz- zur Ergebniskultur als bereits zumindestens ansatzweise umgesetzt. Den Chef als Mitarbeiter im Projekt haben allerdings nur ein Drittel der Befragten erlebt.

Fast alle Unternehmen verfügen über ein vielfältiges Angebot an Arbeits- und Meetingräumen, und mobiles Arbeiten – auch vom Homeoffice aus – gehört heute schon zum Standard. Offene Kontaktpunkte und Open-Space-Büros, auch für Führungskräfte, bieten zwei Drittel der befragten Unternehmen.

90 % der befragten Unternehmen verfügen über gute Informations- und Kommunikationstechnik zur Unterstützung und berichten von hoher Transparenz in Projekten.

Zwei Drittel der Unternehmen nutzen bereits die Möglichkeiten der Social Media, während nur ein Drittel E-Learning anbietet. Dabei fällt neuen Kompetenzen eine besondere Rolle zu, sodass These 5 nahtlos anschließt.

These 5: Neue Kompetenzen brauchen Raum und Pflege – und eine neue Personalpolitik

Ein hohes Verständnis für Zahlen und Datenverarbeitung bei gleichzeitig ausgeprägter Fähigkeit zur zwischenmenschlichen Kommunikation heißen die Herausforderungen der Zukunft. Der Kampf um die besten Talente ist im vollen Gange. Erste Unternehmen bewerben sich bei Kandidaten und nicht mehr umgekehrt. Es geht aber nicht nur darum, die besten Talente zu finden und zu gewinnen, es geht auch darum, diese zu halten.

Dabei ist zu beachten, dass wir es mit den sogenannten Generationen Y und demnächst Z zu tun haben, dass diese Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen internationaler und digitalaffiner sind und dass sich ihre gesellschaftlichen Wertvorstellungen und ihr Verhältnis zur Arbeit gewandelt haben. Das bedeutet: Die Unternehmen müssen flexibler und individueller werden, neue Arbeitszeitmodelle implementieren, Mitsprache fördern und Feedbackkultur stärken, um diese Mitarbeiter zu motivieren.

Ein Unternehmer, nach seinen Alleinstellungsmerkmalen gegenüber Wettbewerbern im Kampf um Talente gefragt, meint: „Drehen Sie meine Visitenkarte um: *„We are looking for the long-term success and not for the short-term profit“*. Langfristigkeit durch werteorientierte Unternehmenspolitik wird durch die Inhaberfamilie vorgelebt, unabhängig von Banken und Dritten. Man ist ständig um das Wohl der Mitarbeiter bemüht. Wenn der Inhaber persönlich Mitarbeiter anspricht, möglichst bevor, aber auf jeden Fall sobald er auf Kununu, einer Bewertungsplattform von Unternehmen, durch seine Mitarbeiter Misstöne vernimmt, dann beginnen

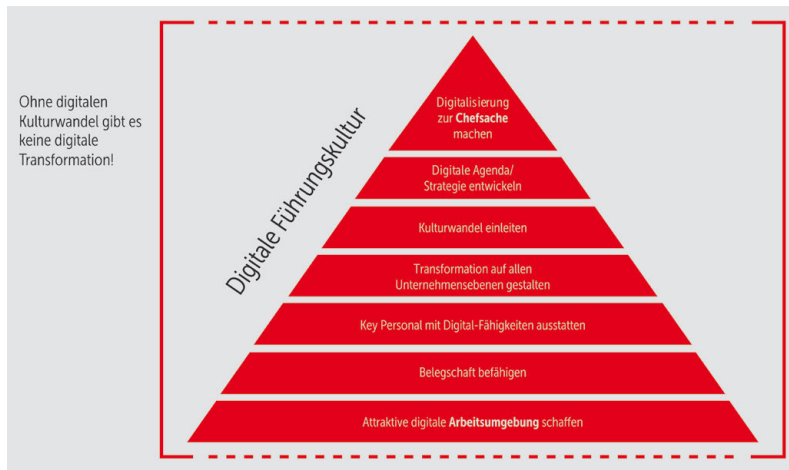


Bild 4: Digitale Führungskultur [3]

die Mitarbeiter zu spüren, dass sie mit ihren Sorgen von der Führung wahrgenommen werden.

Erste Unternehmen lassen mithilfe einer Software mittlerweile ihre Abteilungen und Projekte wöchentlich von Mitarbeitern bewerten und so zeitnah und konkret Rückmeldung geben, sodass Vorgesetzte frühzeitig Missstände aufgreifen und lösen können.

Da wundert es nicht, dass Mitarbeiter nicht wechseln, obwohl internationale Wettbewerber mit der Verdopplung des Gehalts versuchen, die Besten abzuwerben. Das Zauberwort heißt „Vertrauen“.

These 6: Technologien schaffen Freiraum für Kreativität und Teamgeist

90 % der befragten Unternehmen stimmten dieser These uneingeschränkt zu. Die Skalierungsmöglichkeiten von Softwarelösungen werden dazu führen, dass weltweit nur noch mit wenigen Lösungsanbietern gearbeitet werden wird: Nur mit den besten. Es werden sich Standards etablieren, die die Bedeutung der CIO (Chief Information Officer) und CDO (Chief Digital Officer) wieder sinken lassen, und es wird wieder mehr um das „was“ und „wann“ als über das „wie“ gerungen.

Ausblick

Es bleibt zu hoffen, dass der Fortschritt der Technologien die Tendenz, dass immer weniger Menschen immer mehr arbeiten, durchbrechen wird. Frei werdende Zeit soll für das gemeinsame Entwickeln neuer Ideen, Produkte und Geschäftsmodelle sinnvoll investiert werden – zum Nutzen der Kunden und damit zur Wertsteigerung des eigenen Unternehmens. Die Herausforderung besteht darin, alle menschlichen Ressourcen zu nutzen, denn zum ersten Mal in der industriellen Revolution

wird der richtig ausgebildete Mensch zum Bottleneck im Wachstum und nicht eine Maschine. Deshalb muss es unser aller Anliegen sein, in die lebenslange Ausbildung zu investieren, damit wir die Herausforderungen gemeinsam meistern und nicht versuchen, vor ihnen wegzulaufen.

Die Herausforderungen der Zukunft liegen nicht nur in dem Verständnis von Zahlen, sondern insbesondere in der Kommunikation über Grenzen jeglicher Art hinweg. Softskills und Werte werden gefragt denn je. Und der Mensch bleibt im Mittelpunkt der Betrachtung. Die heute noch vertretene deutsche Bergbauzulieferindustrie hat erfolgreich die Globalisierung gemeistert und die Führung ist sich der besonderen Herausforderungen der digitalen Zeiten bewusst. Bleibt ihr der notwendige Mut und das Geschick zu wünschen, auch die zukünftigen Anforderungen zu meistern (**Bild 4**).

Quellenverzeichnis

- [1] Antons, D.; Piening, E.; Salge, T.-O.: Führung und Innovation in Zeiten der Digitalisierung. Studie des VDMA e. V.
- [2] Clausen, E. (2019): Digitalisierung als Chance für den Bergbau und die Rohstoffversorgung?! GeoResources Zeitschrift (1-2019), S.43-46. Online: <https://www.georesources.net/download/GeoResources-Zeitschrift-1-2019.pdf>
- [3] Adamczyk, C.; Bäcker, M.; Franzen, O.; Kreutz, M.; Suntrop, C.; Wächter, P.: Führung in Zeiten der Digitalisierung. Bundesverband Deutscher Unternehmensberater BDU e. V.

Dipl.-Ing. Claus Pels-Leusden

Nach dem Bergbaustudium und ersten Berufsjahren als Ingenieur in Frankreich Wechsel in den internationalen Vertrieb von Investitionsgütern für Infrastruktur, Energieerzeugung und Automobilbau, später in der Verantwortung von Rohstoffen für die Stahlindustrie. 25 Jahre Erfahrung sowohl in börsennotierten Konzernen als auch im Mittelstand, davon 8 Jahre als Mitglied der Geschäftsleitung.



Kontakt: cpl@houseofconsultants.de

Ihr GeoResources Vorteil GEC_GR_56

Mit diesem Aktionscode erhalten Sie einen
5 EUR Preisvorteil auf 1- und 2- Tagestickets
der GEC zum aktuell gültigen Tarif unter
www.gec-offenburg.de



Messe
Offenburg-
Ortenau

23. + 24. Oktober
MESSE OFFENBURG

www.gec-offenburg.de

Symposium FreiBERGbau

Rohstoffabbau und Spezialverfahren unter Tage

4. INTERNATIONALES FREIBERGER FACHKOLLOQUIUM

Mittelständischer Bergbau

Anforderungen & Möglichkeiten der modernen Rohstoffgewinnung
1. - 2. Oktober 2019

Themenkomplexe:

- Genehmigungsverfahren und Finanzierungsmodelle
- Anforderungen an neue Infrastrukturkonzepte
- Anpassung und Optimierung der Abbautechnologien
- Optimierung von Förderung und Transport, Geräteauswahl
- Sensorik und Datenauswertung, IT-Infrastruktur
- Vernetzung und Automatisierung
- Öffentliche Akzeptanz der Rohstoffgewinnung



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG

Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.



Organisation & Kontakt:
Institut für Bergbau und Spezialtiefbau
Toni Müller, Tobias Krichler
Fuchsmühlenweg 9

09599 Freiberg/ Sachsen





BERGBAU, ENERGIE und ROHSTOFFE

11. - 13. September 2019,
Technische Hochschule
Georg Agricola, Bochum